

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ANALIZA I OBLIKOVANJE SKLADIŠNOG SUSTAVA
MAGISTARSKI RAD

Mentor: Prof.dr.sc. **Čedomir Oluić**

Goran Đukić, dipl.inž.

ZAGREB, 2000.

PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU

UDK: 658.286

Ključne riječi: oblikovanje skladišnih sustava, logistički lanci, logistika, skladišni sustav (skladište), odlučivanje u skladišnom menadžmentu, modeli oblikovanja skladišta

Znanstveno područje: TEHNIČKE ZNANOSTI

Znanstveno polje: Strojarstvo

Institucija u kojoj je rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Mentor rada: Prof.dr.sc. Čedomir Oluić

Broj stranica: 99

Broj slika: 41

Broj tablica: 3

Broj korištenih bibliografskih jedinica: 69

Datum obrane: 06.04.2000.

Povjerenstvo: Dr.sc. Nikola Šakić, red. prof., predsjednik Povjerenstva
Dr.sc. Čedomir Oluić, red. prof., voditelj magistarskog rada
Dr.sc. Vilim Ferišak, red. prof., Ekonomski fakultet, Zagreb, član Povjerenstva

Institucija u kojoj je rad pohranjen: Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojem mentoru prof.dr.sc. Čedomiru Oluiću na velikoj pomoći, uloženom trudu, savjetima i razumijevanju koje mi je pružio tijekom izrade rada.

Također se zahvaljujem prof.dr.sc. Nikoli Šakiću i prof.dr.sc. Vilimu Ferišaku na ugodnoj suradnji i korisnim savjetima.

Posebno velika zahvalnost mojim roditeljima i sestri na strpljenju i potpori koje su iskazivali tijekom izrade rada.

Hvala i svim prijateljima i kolegama sa Zavoda za industrijasko inženjerstvo Fakulteta strojarstva i brodogradnje, koji su mi na bilo koji način pomogli.

“Rezultatima dobivenim zakonima znanstvenog menadžmenta mogu se dobro naplatiti vrijeme i eksperimenti potrebni za razvoj tih zakona.”

F.W. Taylor

SADRŽAJ

PREDGOVOR	i
SAŽETAK RADA	ii
SUMMARY	iii
KLJUČNE RIJEČI	iv
KEY WORDS	iv
1. UVOD	1-1
1.1. Značaj i problematika logističkih sustava	1-1
1.2. Zadatak i metodologija rada	1-1
2. LOGISTIČKI LANCI, LOGISTIKA I SKLADIŠNI SUSTAVI	2-1
2.1. Logistički lanci	2-1
2.2. Logistika	2-4
2.2.1. Paradigme u logistici	2-8
2.2.2. Integrirana logistika	2-9
2.3. Modeliranje logističkih lanaca	2-10
2.4. Zadaća, ciljevi i sistematizacija skladišta	2-10
3. SKLADIŠNI MENADŽMENT	3-1
3.1. Odlučivanje	3-2
3.2. Strateške skladišne odluke	3-4
3.2.1. Strategija poduzeća	3-5
3.2.2. Strategija proizvodnje	3-5
3.2.3. Strategija distribucije	3-6
3.3. Taktičke i operativne skladišne odluke	3-7
3.4. On-line odlučivanje	3-7
3.4.1. WMS – sustavi za upravljanje skladištem	3-8
3.4.2. Sustavi za upravljanje poslovanjem	3-9
4. OBLIKOVANJE SKLADIŠNIH SUSTAVA	4-1
4.1. Metodologija oblikovanja skladišta	4-2
4.2. Prijam i izdavanje	4-5
4.2.1. Principi prijama	4-6
4.2.2. Principi izdavanja	4-7
4.2.3. Planiranje prostora prijamne i predajne zone	4-7
4.3. Skladištenje	4-9
4.3.1. Planiranje prostora zone skladištenja	4-9
4.3.1.1. Upravljanje zalihami i količina zaliha na skladištu	4-12
4.3.1.2. Postupci skladištenja	4-16
4.3.2. Prostorni raspored zone skladištenja	4-17
4.3.3. Principi skladištenja	4-17
4.4. Komisioniranje	4-18
4.4.1. Postupci komisioniranja	4-20
4.4.2. Postupci sortiranja	4-22
4.4.3. Principi komisioniranja	4-23
4.5. Crossdocking	4-23
4.5.1. Metode crossdockinga	4-24
4.5.2. Zahtjevi za uspješan crossdocking	4-25

5. MODEL I METODE U OBLIKOVANJU SKLADIŠTA	5-1
5.1. Oblikovanje zone skladištenja	5-1
5.1.1. Model optimalnih kontura	5-1
5.1.2. Model optimalnih izmjera	5-5
5.1.3. Model optimalne lokacije i strukture skladištenja	5-8
5.1.4. Model ograničenja manjka mjesta odlaganja	5-12
5.2. Oblikovanje zone komisioniranja	5-16
5.2.1. Empirijski modeli određivanja vremena komisioniranja	5-16
5.2.2. Metode određivanja optimalnog puta komisioniranja	5-17
5.2.3. Analiza metoda u komisioniranju	5-21
5.3. Određivanje vremena radnih ciklusa i protoka	5-23
5.3.1. Model određivanja radnog ciklusa visokoregalnog viličara	5-25
5.4. Simulacija – osvrt	5-32
 6. MODEL OBLIKOVANJA SKLADIŠNOG SUSTAVA	 6-1
 7. ZAKLJUČAK	 7-1
 LITERATURA	 v
ŽIVOTOPIS	viii
BIOGRAFY	viii

PREDGOVOR

U područjima Rukovanja materijalom i Logistike, jedan od tehničkih sustava kojim se ostvaruje dinamičko uravnotežavanje tokova materijala je skladišni sustav.

Pomnijom analizom aktivnosti skladišnog procesa, odnosno funkcije i dijelova skladišta, uviđa se velika složenost i važnost takvih sustava u optimizaciji cjelokupnog logističkog lanca. Takva se optimizacija ponajviše ostvaruje adekvatnim oblikovanjem samog skladišnog sustava.

Proučavanjem procesa oblikovanja uviđa se postojanje ogromnog broja analitičkih modela, metoda i empirijskih saznanja za oblikovanje skladišta, kao i njihovih ograničenja zbog primjene samo na određeni segment skladišnog procesa odnosno područja. Takva primjena dovodi do suboptimalizacije. Pretpostavka je da bi novi i složeniji modeli, kao i poboljšanja postojećih metoda za oblikovanje skladišta, rezultirali većim stupnjem optimizacije. Konačni je cilj izgradnja općeg i cjelovitog modela skladišnog sustava, odnosno općeg modela logističkog lanca.

Da bi se krenulo u povezivanje i izgradnje novih i složenijih modela i metoda, potreban je sustavni prikaz skladišnog sustava, te postojećih modela, metoda i principa, kao i njihove međusobne interakcije. Pri tome se ne smiju zanemariti suvremena dostignuća informacijske tehnologije u svim segmentima ljudskog rada, pa je namjera i primjenom računalnih alata ostvariti mogućnosti dobivanja konkretnih rješenja i na tom području.

Kako je znanstveno istraživanje jedan beskonačan proces otkrića, ne samo traženih rješenja nego i otkrivanja novih problema, u izradi jednog takvog rada otvaraju su se i mnoga druga nerješena pitanja. Takve spoznaje, zajedno sa željom ljudske prirode o otkrivanju novog, garancija su kontinuiteta znanstveno-istraživačkog rada.

SAŽETAK

U radu se polazi od spoznaje da su u proteklih 5 do 10 godina proizvodna poduzeća pod stalnim pritiskom poboljšavanja konkurentnosti. Većina proizvodnih poduzeća dio su lanca aktivnosti namjenjenog transformaciji sirovina u konačni proizvod za krajnjeg korisnika. Globalizacija tržišta, novi zahtjevi kupaca, pojačana konkurencija, tehnološka dostignuća, zahtjevi za očuvanjem okoliša, porivi su poduzećima da analiziraju i usavršavaju svoju poziciju u tom lancu, ali promatrano u kontekstu tog velikog lanca. U tom ozračju logistika se prepoznaje kao jedno od važnih sredstava za postizanje istog, što navode brojni primjeri iz literature i prakse. Efikasan logistički sustav nužan je preduvjet bržeg i pouzdanijeg logističkog lanca s optimalnim troškovima.

Skladišni sustavi (skladišta) su važan, ali često u praksi zanemaren faktor u logističkom lancu. Uspješno oblikovanje skladišta nužan je uvjet uspješnosti procesa optimizacije cijelog logističkog lanca. Svako je skladište dio jednog većeg logističkog lanca, te ga je potrebno promatrati i holističkim pristupom. Isto tako, svako se skladište sastoji od određenih područja i funkcija. Promatranje pojedinih područja odnosno funkcija skladišta zasebno dovodi do suboptimalizacije, te ih je potrebno sustavno povezati, s ciljem postizanja većeg stupnja optimalizacije. Jedan od puteva je izgradnja cjelovitog modela oblikovanja skladišnog sustava, povezivanjem postojećih modela i metoda.

U radu je napravljen sustavni pregled i analiza postojećih modela, metoda i empirijskih saznanja u oblikovanju skladišta, te stanja i trendova u skladišnom menadžmentu.

Analizirani su modeli i metode oblikovanja skladišne zone, modeli i metode oblikovanja zone komisioniranja, te modeli i metode određivanja radnih ciklusa u skladištu, a težište je na istraživanju njihovih ograničenja i međuzavisnosti, kao i implementacije empiričkih saznanja u takve modele i metode. Razmatrana je mogućnosti njihovog povezivanja u složenije modele, u skladu s postavljenom hipotezom i ciljem magistarskog rada. Među rezultatima jedan od važnijih je definiranje jednog analitičkog modela oblikovanja skladišne zone, razrađenog do razine praktične primjene, uključujući računalni program.

Također se u pregledu stanja i trendova skladišnog menadžmenta naglašava važnost računalnog sustava za kontrolu i upravljanje suvremenih skladišnih sustava, WMS-a, uz opis utjecaja performansi takvih sustava na proces oblikovanja, i obrnuto.

Kako je zbog složenosti skladišnog sustava i procesa pri oblikovanju skladišta poželjno koristiti simulaciju, dan je sažet osvrt na simulaciju i njen položaj u procesu oblikovanja skladišta.

Postignuti rezultati u ovom radu samo su dio puta ka konačnom cilju, te su u zaključku dani neki smjerovi daljnjeg istraživanja: u izgradnji cjelovitog modela skladišnog sustava, ugradnji analitičkih (optimizirajućih) modela u specijalizirane simulacijske pakete i primjena elemenata umjetne inteligencije u procesu oblikovanja skladišta.

SUMMARY

This work is based on an awareness of the fact that in the past 5 or 10 years industrial organizations have been under a constant pressure to improve competitiveness. Most industrial organizations are a part of a chain of activities that are designed to transform raw material into final products for consumers. Market globalization, new customer requirements, strong competition, technological developments and environmental protection force organizations to analyse and improve their position in that chain, with respect to the context of the whole chain. In view of this goal, logistics is seen as one of the important means of achieving it, highlighted by numerous examples, from both literature and practice. An efficient logistic system is a necessary prerequisite for a faster and more reliable logistic chain with optimal cost.

Warehouse systems (warehouses) are an important, but in practice often neglected, factor in the logistic chain. Successful warehouse design is a necessary condition for the efficiency of the entire logistic chain optimization process. On the one hand, each warehouse is a part of a larger logistic chain and requires a holistic approach. On the other, each warehouse consists of particular areas and functions, so focusing on them separately leads to suboptimization. To achieve the goal of a higher level of optimization, it is necessary to systematically link those areas and functions. Development of overall warehouse design model, by integration of existing models and methods, is one of possible ways.

This work presents a systematic review and analysis of existing models, methods and empirical knowledge of warehouse design, together with a review of states and trends in warehouse management. Models and methods of storage area design, models and methods of order-picking area design and models and methods for determination of working cycles in warehouse were analyzed. Focus of the research was on their restrictions, mutual interactions and implementation of empirical knowledge into those models and methods. Their combining into more complex models was considered, according to the defined hypothesis and goal of this work. Among the obtained results, a more important one is defining an analytical model for storage area design, worked out to the level of practical use, including a computer program. The importance of computer systems for control and management in modern warehouses (WMS) is emphasized in the review of states and trends of warehouse management. A description of the influence of the system's performance on the design process, and *vice versa*, is also presented. As it is recommended to use simulation in warehouse design due to the complexity of the warehouse system and warehouse process, a short review of simulation and its role in the warehouse design is also given.

The results obtained in this work are only a step to achieving the ultimate goal. Directions for further research, such as: development of overall warehouse design model, building analytical (optimizing) models into specialized simulation packages and using AI elements in warehouse design process, are given in the conclusion.

KLJUČNE RIJEČI

Oblikovanje skladišnih sustava, logistički lanci, logistika, skladišni sustav (skladište), odlučivanje u skladišnom menadžmentu, modeli oblikovanja skladišta

KEY WORDS

Warehouse design, logistic chains, logistics, warehouse system (warehouse), decision-making in warehouse management, warehouse design models

1. UVOD

1.1. Značaj i problematika skladišnih sustava

Proteklih 5 do 10 godina proizvodna poduzeća su pod stalnim pritiskom da poboljšaju svoju konkurentnost. Većina proizvodnih poduzeća dio su lanca aktivnosti namjenjenog transformaciji sirovina u konačni proizvod za krajnjeg korisnika – logističkog lanca. Globalizacija tržišta, novi zahtjevi kupaca, pojačana konkurencija, tehnološka dostignuća, zahtjevi za očuvanjem okoliša, porivi su poduzećima da neprekidno analiziraju i usavršavaju svoju poziciju u tom lancu, ali promatrano u kontekstu tog velikog lanca. U tom ozračju logistika se prepoznaje kao jedno od važnih sredstava za postizanje istog, što navode brojni primjeri iz literature i prakse. Efikasan logistički sustav nužan je preduvjet bržeg i pouzdanijeg logističkog lanca s optimalnim troškovima.

Skladišni sustavi (skladišta) su važan, ali u praksi često i zanemaren faktor u logističkom lancu, usprkos činjenice da u stvarnim procesima gotovo nema materijala koji, planirano ili neplanirano, ne prođe fazu mirovanja – skladištenja ili odlaganja. Zbog dinamike i nesigurnosti današnjeg tržišta, proizvodna poduzeća bez zaliha su idealizirano stanje. Određene zalihe, odnosno skladištenje i odlaganje materijala, nužno je zbog dinamičkog uravnoteženja tijekova materijala, i u većem lancu, i u samom poduzeću, u svim fazama proizvodnog procesa. Poboljšanje performansi skladišta nužan je uvjet u procesu rekonfiguracije cijelog logističkog lanca. Svako je skladište dio jednog većeg logističkog lanca i ne može ga se promatrati kao izdvojeni “otok”, već u kontekstu tog većeg lanca, holističkim¹ pristupom. U analizi, istraživanju, projektiranju i upravljanju, odnosno za oblikovanje skladišta kao samostalnih tehničkih sustava, poznate su i koriste se raznovrsne i brojne metode. Tehnička, tehnološka, organizacijska i informatička rješenja skladišta znanstveno su utemeljena, ali najčešće s metodama kao “alatom” ograničenog dometa, obzirom na cjelovitost logističkog lanca. Pojednostavljeno, to znači da su metodama pokriveni uglavnom samo pojedini manji segmenti skladišta. U cilju oblikovanja skladišta u kontekstu većeg logističkog lanca, potrebna je izgradnja modela cjelokupnog skladišta. Cilj ovoga rada je istražiti, analizirati i predložiti poboljšanja u projektiranju skladišta, kao temeljnoj pretpostavci za uspješnu izvedbu, dobro funkcioniranje i dobre poslovne rezultate. Pri tome su logistika i logistički lanci temeljna polazišta, a ideja o cjelovitosti modela skladišta glavna odrednica. Kako je sve to u svrhu ostvarenja efikasnog logističkog sustava cjelokupnog logističkog lanca, krajnji cilj bi, dakako, trebao biti izgradnja jednog općeg modela cijelog logističkog lanca, koji će u sebi sadržavati i sustavno povezane sve relevantne modele za oblikovanje skladišta.

1.2. Zadatak i metodologija rada

Razmatranje skladišta u procesima proizvodnje i distribucije roba postaje još važnije ako se uvidi činjenica da investicijski troškovi današnjih skladišta rastu i do nekoliko desetaka milijuna dolara, dok su operativni troškovi i preko tisuću dolara na sat. Zbog toga je poboljšanje funkcije skladišta jedan od važnih zadaća logistike. To poboljšanje moguće je i rekonfiguracijom postojećih skladišta i oblikovanjem novih skladišta, inovacijama u fazi projektiranja:

¹ Holizam (grč. *holos* – sav, potpun, čitav) – 1. teorija da organizam kao cjelina usmjeruje fizičko-kemijske procese u živom biću, 2. u psihologiji načelo da se pojedine psihičke pojave uvijek moraju promatrati u sklopu psihičke cijenine, prema Klaić, *Riječnik stranih riječi*, Nakladni zavod MH, Zagreb, 1978.

- promjenama u pristupu i metodologiji,
- primjenom poznatih, ali usavršenih metoda i modela,
- primjenom novih metoda i modela,
- promjenama tehničke, tehnološke, organizacijske, informatičke, kadrovske i/ili ekološke razine rješenja.

Golem utjecaj na funkciju i rezultate skladišta imaju i drugi dijelovi logističkog lanca i relevantni procesi. Skladišni sustav se u ovom radu promatra kao dio jednog većeg logističkog lanca, a proces oblikovanja kao integralni dio oblikovanja cjelokupnog logističkog lanca. Zadatak rada je analizirati problem oblikovanja skladišta u takvom okružju, te raspraviti integralni pristup rješavanju tog problema, razvojem i korištenjem složenijih modela i metoda za oblikovanje skladišnog sustava. U tu svrhu prikazuju se postojeći, te istražuju i novi modeli i metode, uz prikaz implikacija pojedinih odabranih rješenja na druga, neovisno dobijena spomenutim modelima. Pojedini modeli mogu se integrirati u složeniji model, predstavljajući podsustave ili podprocese koje opisuju kao međuzavisne, a sve to zapravo vodi izgradnji općeg modela skladišnog sustava, za čije su oblikovanje sustavno definirane metode.

U izratku rada konzultiran je najveći broj izvora iz SAD-a, a poznato je da o logistici postoje razlike u odnosu na europske autore. Za ovo područje vrlo je malo literature pisano na hrvatskom jeziku. U području tehničke logistike pronalazimo malobrojne radove s nekih znanstvenih skupova. Nakon uvoda u 2. poglavlju analiziraju se i definiraju logistički lanci i logistika.

Radi boljeg razumijevanja rada, te utemeljenja pojmova koji se koriste, u tom poglavlju sažeto se opisuju važnije odrednice skladišnih sustava, procesa, tijeka materijala, funkcija i zona.

U oblikovanju skladišta i svih skladišnih procesa immanentne su odluke i odlučivanja, pa je 3. poglavlje posvećeno raspravi o skladišnom menadžmentu. Skladišne odluke donose se na sva tri nivoa odlučivanja, strateškom, taktičkom i operativnom, a isto tako moraju biti integrirane u strategiju proizvodnje i strategiju distribucije, koje moraju biti u okvirima definiranim općom strategijom poduzeća.

Proces oblikovanja skladišta temelji se na taktičkim i operativnim odlukama skladišnog menadžmenta. U tom procesu koriste se i empirička saznanja i rezultati znanstvenih istraživanja, pa se u tu svrhu u 4. poglavlju opisuju i analiziraju postupci i principi. Matematički i kompjuterski modeli i metode za rješavanje problema pri oblikovanju skladišta obrađeni su u 5. poglavlju. Kako se mnogi analitički modeli odnose samo na određeni dio skladišnog sustava, posebno se analizira mogućnost i značaj povezivanja tih modela kao jedan od puteva do izgradnje općeg modela skladišnog sustava. U 6. poglavlju predlaže se jedan matematički model, nastao povezivanjem manjih modela, s ciljem da se ostvari viša razina optimizacije.

Skladišni sustav samo je jedan dio većeg logističkog lanca i opći model oblikovanja skladišnog sustava trebao bi biti razmatran s te pozicije, pa bi konačan cilj istraživača na tom polju trebao biti izgradnja općeg modela logističkog lanca u koji bi bio ugrađen model skladišnog sustava. Postoje različite mogućnosti razvoja takvih modela, o kojima se govori u zaključnom poglavlju ovog rada.

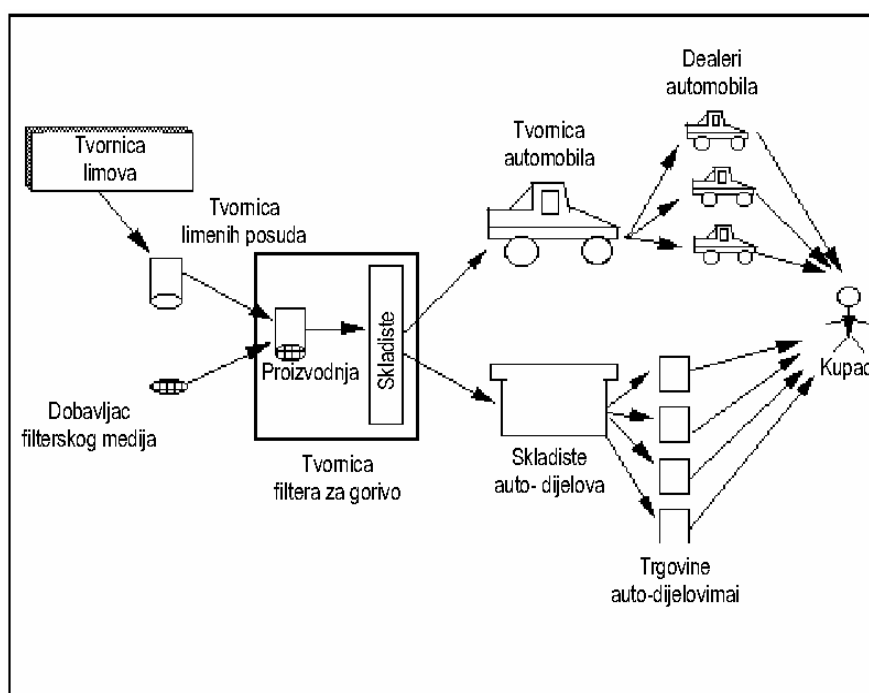
2. LOGISTIČKI LANCI, LOGISTIKA I SKLADIŠNI SUSTAVI

U uvodu je rečeno da poduzeća u današnjim uvjetima moraju neprekidno analizirati i poboljšavati svoju poziciju u logističkom lancu u kojem se nalaze, ukoliko žele opstati i razvijati se u postojećim uvjetima konkurencije. Za to je nužan efikasan logistički sustav. No, na pitanje kako neki logistički menadžer može primijeniti logistiku u specifičnoj situaciji, odgovori su poprilično široki i neodređeni. Već i pri samom pokušaju određenja logistike nekom definicijom nailazi se na probleme. Mnogi autori definiraju logistiku na različite načine i nimalo slične.²

U ovom poglavlju raspravlja se logistika i terminologija relevantna za ovaj rad, a na temelju istraživanja velikog broja radova iz područja logistike. Analizira se i stanje logistike danas, te trendovi za poboljšanje njene efikasnosti.

2.1. Logistički lanci

U lancu aktivnosti pretvorbe od sirovina do gotovog proizvoda nalazi se više poduzeća (organizacija) uključenih u različite procese koji proizvode vrijednost za krajnjeg korisnika. Jedan takav lanac, na primjeru proizvođača automobilskih filtera za gorivo, shematski je prikazan na slici 2.1.



Slika 2.1. Logistički lanac [2]

Prema shemi na slici 2.1., vidljivo je da je proizvođač automobilskih filtera za gorivo dio jednog lanca različitih organizacija, koji mora zadovoljiti zahtjeve kupca pri kupnji tog filtera. Tijekom informacija i materijala u tom lancu najbolje se može shvatiti ako se razmotri proces, nakon što korisnik odluči kupiti filter. Ako npr. korisnik kupi filter u trgovini autodijelova, to

² Kako se u ovom radu autor koristio uglavnom stranom literaturom, veliki problem je bio i u određenju odgovarajuće terminologije (razumijevanje u engleskom i prijevod na hrvatski jezik).

smanjuje zalihi filtera u toj trgovini. Ovisno o broju filtera na zalihi, trgovac daje narudžbu za filtere regionalnom dobavljaču. On svoje zalihe popunjava narudžbom filtera iz centralnog skladišta, a ono svoje zalihe popunjava narudžbom od proizvođača. Da bi proizvođač mogao proizvesti filtere, mora naručiti potrebne materijale od svojih dobavljača (time se otvara drugi dio opisanog logističkog lanca, a slijede i ostali segmenti kojima se definira cjeloviti i potpuni logistički lanac).

Što je logistički lanac?

Pri pokušaju definiranja jednog takvog lanca, nailazi se na probleme zbog različitih definicija u literaturi, te korištenja različitog nazivlja. Npr, prof. Udatta A. Palekar iz University of Illinois, Urbana, koristi definiciju:

“Lanac opskrbe (eng. supply chain) je mreža organizacija koje su uključene u različite procese i aktivnosti koje proizvode vrijednost u formi proizvoda i usluga za krajnjeg korisnika.” [2]

Prema toj definiciji, a istu koriste i mnogi drugi autori, takav lanac se naziva eng. *supply chain*³. Iz same definicije vidljivo da se u tom lancu proizvodi vrijednost, pa sam autor navedene definicije koristi za eng. *supply chain* i sinonim, eng. *value chain*. Prijevod tog naziva, lanac vrijednosti, autor ovog rada također ne vidi prihvatljivim, što zbog nepostojanja u dosada objavljenim radovima na hrvatskom jeziku, što zbog razloga da sam naziv ne nameće zaključak o čemu se zapravo radi.

Prof. James B. Dilworth sa University of Alabama, Birmingham, SAD, koristi nešto drugačije nazive:

“Poduzeće je dio većeg sustava – logističkog lanca (eng. logistic chain). Ulazi proizvodnih poduzeća ovise o dobavljačima, izlazima moraju opskrbljivati svoje korisnike. Nekoliko poduzeća ili nekoliko dijelova većeg poduzeća mogu biti povezani u logistički lanac.” [3]

U istoj knjizi opisuje se *Logistička mreža (eng. Logistic Network)* i navodi:

“Vodeća poduzeća prepoznaju da su dio lanca opskrbe (eng. supply chain) za njihove korisnike. Ona postavljaju efektivnu i efikasnu mrežu za podršku usluge korisnicima.”

Iz opisanog se zaključuje da navedeni autor razmatra isti problem, a koristi nazive eng. *supply chain* i eng. *logistic chain* kao sinonime, te uvodi pojam logistička mreža. Iz samog teksta tog autora teško je razlučiti razliku između logističkog lanca i logističke mreže i da li je on uopće postavlja. I u definiciji profesora Palekara postoji izjednačavanje pojma lanac i mreža. Kees Jan Roodbergen sa Erasmus University, Rotterdam, u uvodu svoje disertacije navodi:

“Logistička mreža (eng. logistic network) sastoji se od dobavljača, pogona i skladišta koji, sustavnom transformacijom sirovina, poluproizvoda i gotovih proizvoda, osiguravaju dostavu konačnog proizvoda korisniku u pravo vrijeme, na pravo mjesto.” [1]

³ Pokušaj prijevoda daje nazivlje kao što su lanac opskrbe, lanac dobave, lanac nabave ili distribucijski lanac. Prema prosudbi autora niti jedan od ovih naziva na hrvatskom jeziku nije najsretnije rješenje, jer može dovesti do zablude da se misli samo na dio lanca koji razmatra nabavu ili distribuciju pojedine organizacije u tom lancu.

I taj autor uzima naziv logistička mreža za opis promatranog lanca, a u definiciju dodaje *pravo vrijeme i pravo mjesto*. Ovaj dodatak sastavni je dio osnovnog zadatka logistike, i može se naći u mnogim definicijama logistike [13]. No, da bi ta mreža bila *efektivna i efikasna*⁴, konačni proizvod mora biti dostavljen korisniku u pravo vrijeme i na pravo mjesto.

The Logistic Institute (TLI), Atlanta, za svoju djelatnost navodi

“istraživanje i edukacijski program usredotočen na optimizaciju cjelokupnog logističkog vrijednosnog lanca (eng. logistic value chain).” [4]

Također se definira da

“suvremena poduzeća, radi zadovoljenja zahtjeva kupaca...,moraju efektivno i efikasno povezati njihov cijeli globalni lanac opskrbe (eng.supply chain).”

Može se zaključiti da je eng. *supply chain* lanac ili mreža organizacija, a eng. *logistic value chain* je sinonim za takav lanac. U daljnjem objašnjenju navodi se da u tom lancu postoji veza fizičkih elemenata, veza poslovnih procesa, koji uključuju tijek materijala, informacija i novca, te upravljanje takvim lancem.

Iz navedenih primjera vidljive su nejasnoće određenih naziva i pojmova raznih autora, pa je razumljivo što postoji problem određenja nazivlja tih pojmova i na hrvatskom jeziku. Autoru ovog rada čini se prihvatljivom slijedeća definicija:

Logistički lanac je mreža organizacija koje su uključene u različite procese i aktivnosti koje proizvode vrijednost u obliku proizvoda i usluga za opskrbu korisnika prema njegovim zahtjevima.

U definiciji se prvo izjednačavaju riječi lanac i mreža, čime se želi naglasiti da se radi o istoj stvari, odnosno da je riječ “lanac” pojmovnog smisla. Dijelom “*koje su uključene u različite procese i aktivnosti*” želi se naglasiti međusobna povezanost tih organizacija. To je zadaća logistike, što je i u samom nazivu. Dijelom koji navodi da se “*proizvodi vrijednost*” naglašava se i podrazumjeva i *vrijednosni lanac*. Na kraju riječ “*opskrba*” omogućava da se definicija poveže s nazivom eng. *supply chain*.

Takav izbor ne znači eksplicite da je naziv eng. *logistic chain* adekvatniji od naziva eng. *supply chain*. Naprotiv, razmatranje položaja nekog poduzeća u većem lancu (eng. *supply chain*), te upravljanje tim lancem (eng. *supply chain management*), intenziviralo se posljednjih godina zbog globalizacije tržišta i orijentiranosti prema zahtjevima kupaca, gdje se pojavila logistika kao nešto što će dovesti do integracije i optimalizacije procesa i aktivnosti unutar tog lanca. Praktički nema smisla govoriti o nekom lancu organizacija ako se ne misli na njihovu povezanost, a što je zadaća logistike. Za autora ovog rada naziv **logistički lanac** logičan je izbor.

⁴ Pojmovi efikasan i efektivan, u smislu efikasne i efektive logistike, objašnjeni su na stranici 2-7.

2.2. Logistika

Zadnjih godina, posebice kod nas, logistika se intenzivira kao vrlo važno sredstvo za poboljšanje poslovanja s ciljem postizanja konkurentnosti na tržištu i tema je kojom se bave mnogi teoretičari, a koriste je mnoga poduzeća u praksi. No, što je to zapravo logistika? Ne postoji univerzalna definicija, pa čak postoje i različita poimanja logistike. Za jedne je logistika interdisciplinarna znanost koja kombinira inženjerstvo, mikro ekonomiju i teoriju organizacije pri općem razmatranju tijeka materijala. Za neke logistika znači jednostavno samo transport, ili pomodni naziv za nešto već poznato.

Da bi se odredila opća definicija logistike, moraju se uvidjeti njena osnovna zadaća i ciljevi, a oni su danas drugačiji, nego prije. Glavni razlog tome su intenzivan i dinamičan razvoj logistike kao znanstvene discipline, ali i sve veći zahtjevi realnih procesa u kojima se logistika primjenjuje.

Sama riječ logistika etimologijski se može povezati s različitim izvorima, među kojima se najčešće navode dva jezika:

- Grčki logistikos=vješt u računanju
 logos=pojam, razum, pamet
 logismos=račun, plaća;
- Francuski logis=stan, kuća, boravište.

Riječ logistika prvi se puta u nekim pisanim radovima pojavljuje kod grčkog filozofa Platona (427.-347. p.n.e.), koji je pisao da u ljudskoj duši postoje dva dijela: prvi je viši, umni i naziva ga *logistikon*, a drugi je niži.

Logistika ima svoje korijene u vojnom području. Bizantijski car Leon VI "Mudri" (866. – 912. god.) u svojoj knjizi "Rasprava o umijeću ratovanja", poznata i kao "Leonovi vojni instituti", uveo je naziv *logistika*, te detaljno opisao njeno značenje. Švicarac A.-H. barun de Jomini (1779. – 1869. god.), general francuske a potom i ruske vojske (osnivač vojne akademije u Petersburgu), u svojoj knjizi "Kratki prikaz umijeća ratovanja" (objavljena 1837. godine u Parizu) posvetio je logistici cijelo poglavlje: "O logistici ili o znanju i vještini pokretanja postrojbi". Nakon prijevoda de Jominijeve knjige u Americi, logistika vrlo brzo ulazi u vojnu terminologiju, a među prvim o logistici je govorio 1885. godine admiral B. Luce pri svečanosti otvorenja jedne mornaričke akademije. Smatra se da je do kraja II svjetskog rata logistika zauzela važno mjesto u vojnim postrojbama svih zemalja. U vojnom području logistika je znanost i vještina pripreme, nabave, prijevoza, smještaja, nadzora i distribucije postrojbama svih resursa potrebnih za uspješno vođenje vojnih operacija i ostvarenje vojnih ciljeva. [14]

Za početak primjene logistike u izvanvojnim područjima najviše se zasluga pripisuje bivšim vojnicima (ponajviše nakon II. svjetskog rata u Americi), koji poučeni vlastitim iskustvima i vođeni spoznajama o rezultatima primjene logistike u vojsci, počinju istu primjenjivati u društvenim i privrednim područjima.

Utemeljenje logistike, kao znanstvene discipline, najčešće se povezuje s Amerikancem O. Morgensternom i njegovim radom: *Note on the formulation on the Theory of Logistics*, Naval Research Logistics Quaterly Review 2 (1955), 129-136 [5].

Pojam i značenje logistike danas rezultat je razvoja brojnih povezanih koncepcija⁵, formiran promjenama pritiskaka na idustrijska poduzeća kroz povijest, kao rezultat promjena izazova u teoriji logistike i općeg napretka u znanosti. Pojavljivali su se novi koncepti i integrirali sa starima, kao evolucijski proces.

Do sredine XX. stoljeća logističke aktivnosti nisu bile značajnije znanstveno pokriveno. Tek u pedesetim godinama XX. stoljeća pojavili su se određeni koncepti u obliku modela planiranja, pod imenima fizička distribucija (eng. *Physical Distribution*) i upravljanje materijalom, odnosno materijalno poslovanje (eng. *Materials Management*). Pojavljuju se prve logističke udruge, npr. *National Council of Physical Distribution Management*, koja kasnije prelazi u *The Council of Logistical Management (CLM)*. CLM je definirao logistiku kao:

“Skup aktivnosti povezanih s efikasnim kretanjem gotovih proizvoda od mjesta završetka proizvodnje do korisnika, a u nekim slučajevima uključuje kretanje sirovina od dobavljača do početka proizvodnje. Te aktivnosti uključuju vanjski transport, skladištenje, rukovanje materijalom, zaštitno pakiranje, kontrolu zaliha, odabir lokacije pogona i skladišta, procesiranje narudžbi, predviđanje kretanja na tržištu i servis.” [6]

Iz te definicije vidi se da je proizvodnja isključena iz logistike, odnosno logistika je bila skup aktivnosti spomenuta dva koncepta, eng. *Physical Distribution* u području distribucije i eng. *Material Management* u području nabave i kontrole zaliha.

Povećani nivo usluga i raznovrsnost proizvoda bili su trend na tržištu u šezdesetim godinama XX. stoljeća. U to vrijeme problemi razlika u ponudi i potražnji rješavali su se zalihama, što je rezultiralo povećanju istih i, s tim u vezi, određenim problemima. Također se u to vrijeme u logistiku uvodi Teorija sustava, kao alat. Logistika je i dalje rješavala probleme vezane samo za fizičku distribuciju, nabavu materijala i kontrolu zaliha. No pojavljuje se i novi koncept: Poslovna logistika (*Business Logistics*), definirana kao integrirani alat upravljanja:

“Upravljanje svim aktivnostima u vezi kretanja robe i koordinacija ponude i potražnje u osiguranju iskorištenja vremena i prostora.” [6]

Prvobitna definicija CLM-a zadala je osnovne aktivnosti logistike, dok je ova proširena, te se naglašava iskorištenje vremena i prostora kao ciljeva logistike. Također, koordinacija ponude i potražnje postaje dio aktivnosti logistike, a proizvodnja se ne uključuje.

Sedamdesete su godine XX. stoljeća vrijeme smanjenja rasta i početka stagflacije⁶. Porasli su troškovi logistike u većini poduzeća. Počinje razvoj kompjuterskih sustava za planiranje potreba materijala, MRP, i s njima upravljanje proizvodnjom postaje centralna točka logistike.

U skandinavskim zemljama pojavljuje se koncept eng. *Materials Administration*, definiran kao:

⁵ Koncepcija (lat. *conceptio*) – zamisao, ovakvo ili onakvo shvaćanje nečega, način razmatranja nekih pojava, u radu se koristi i sinonim koncept (lat. *conceptus*) – pojam, zamisao, mišljenje, prema Klaić, *Riječnik stranih riječi*, Nakladni zavod MH, Zagreb, 1978.

⁶ Stagflacija – stvoren izraz od stagnacija (u privrednom razvoju) i (istodobna) inflacija, prema Klaić, *Riječnik stranih riječi*, Nakladni zavod MH, Zagreb, 1978.

“Upravljanje materijalom (eng. Materials Administration) može se definirati kao pogled i principi pomoću kojih se razvija, planira, organizira, koordinira i kontrolira tijek materijala od sirovina do konačnog proizvoda.” [6].

Ovaj koncept postao je važan prvenstveno jer se prvi puta naglašava važnost holizma. Koncept se bazirao na teoriji sustava, odnosno objašnjava tijek materijala kao logistički sustav i zaključuje da se logistiki mora pristupiti kao sustavu. Skandinavski pristup razlikuje se od američkog po tome što je fokus s proizvodnih operacija pomaknut na administraciju, što je dalo logistici ulogu koordinatora između organizacijskih funkcija poduzeća.

U osamdesetim godinama XX. stoljeća revolucija u informatičkoj tehnologiji imala je značajan utjecaj na logistiku. Kompjuterski MRP sustavi postali su dostupni i manjim poduzećima, a elektronička identifikacija i komunikacija otvorile su nove mogućnosti u logistici. Također se pojavljuje i CIM kao područje koje se uključuje u istraživanja logistike, iako je trend kojim su se bavile sve studije bila japanska proizvodnja: JIT i kvaliteta. Fokus se s alata i tehnika preselio na smislene strukture i upravljanje. Od praktičnog interesa bile su organizacijske promjene u smislu logističke orijentacije i implementacije informacijskih sustava. CLM je 1986. godine definirao logistiku na slijedeći način:

“Logistika je proces planiranja, implementacije i kontrole efikasnog i s pozicije troškova efektivnog tijeka i skladištenja sirovina, zaliha u procesu, gotovih proizvoda, te s tim u vezi informacija, od točke izvora do točke potrošnje, sa svrhom ispunjenja zahtjeva kupaca.” [6]

U toj definiciji naglasak je stavljen na proces planiranja, implementacije i kontrolu, kao u eng. *Materials Administration* konceptu, te je dodan tijek informacija povezan s tijekom materijala.

Koncepti kao konkurentnost i strategija također se pojavljuju na sceni, te se naglašava važnost logistike u poslovnoj strategiji. Kao posljedica, 1990. godine CLM definira strategiju kao najvažniju točku u istraživanju logistike.

U današnjim uvjetima konkurencije, na nikad jačem tržištu, uvjeti poslovanja se konstantno mijenjaju. Područje koje pokriva logistika najbolje se može opisati kao kompleksno, dinamično i nesigurno. U dosadašnjem razmatranju prikazani su fragmenti razvoja logistike kao konsekvence promjena u okolini, što je uzrokovalo promjene fokusa industrije odnosno logistike. U posljednjem desetljeću XX. stoljeća pojavljuje se globalna proizvodnja, partnerstvo i ekologija kao teme koje ponovno mijenjaju fokus industrije, odnosno logistike. Također, korisnici imaju sve veće zahtjeve na usluge, skraćuje se životni vijek proizvoda, te većina istraživača naglašava vrijeme kao najvažniji faktor u logistici. Područje koje je ušlo u fokus je logistika brzog odgovora (eng. *Quick Response Logistics* ili *JIT Logistics*).

Logistika, kao znanost na sveučilištima (ekonomski i tehnički fakulteti) i u praksi, postavljena je kao posebna disciplina. Inovativna snaga u logistici ipak su velika poduzeća, posebno u SAD i Japanu. Na sveučilištima, iako su blisko povezana, područja logistika i upravljanje proizvodnjom često su podijeljena, te se nastava iz logistike usmjerava više na distribuciju i marketing, dok se upravljanje proizvodnjom usredotočuje na inženjerske aspekte nabave i proizvodnje. U SAD se logistika bavi fizičkom distribucijom i zalihama, dok se upravljanje proizvodnjom usredotočuje na planiranje i kontrolu. Oba područja imaju svoje udruge. CLM

je vrlo aktivna u istraživanju i praksi, ali i *American Production and Inventory Control Society* (APICS), kao i europske udruge kao što su IPSE (Velika Britanija), VDI (Njemačka) i NEVEM (Nizozemska), uključuju se u istraživanja vezana za logistiku. Postoje i brojne samostalne udruge za logistiku, kao što su DGfL (Njemačka), SILF (Švedska), SGL (Švicarska), NIMA (Norveška), SOLE (SAD), ELA (Europska unija).

U uvodu ovog poglavlja rečeno je da je logistika značajno sredstvo u postizanju konkurentnosti na današnjem, globalnom, dinamičkom i nesigurnom, tržištu. Nema pravog i jedinstvenog recepta za uvođenje logistike koja bi dala željene rezultate u novonastaloj situaciji. Zbog čega? U literaturi i u praksi nailazimo na brojne različite pristupe i poimanja logistike. Već se u definicijama logistike, kao što je rečeno, vide određene razlike, ovisno o pristupu. Također, što znači primjena logistike, na način da ona daje željene rezultate? Ona treba biti, prema nekim izvorima, efikasna, prema drugim efektivna. Znače li ta dva pojma isto ili ne? I konačno, zbog utjecaja različitih trendova kroz povijest, te zbog različitosti u pristupu efektivnoj logistici, današnji koncepti (pristupi) logistike prilično su nekonzistentni i nekoherentni. U slijedećim podpoglavljima pokušat će se pojasniti navedeno.

U literaturi se mnogo spominju pojmovi efikasno i efektivno, odnosno efektivnost i efikasnost⁷, vezano uz logistiku [6]. Koja je razlika između tih pojmova?

Efikasnost je generalni koncept koji se može definirati pomoću odnosa dvije komponente, vrijednosti karakteristika sustava i vrijednosti utrošenih resursa. Efikasnost također objašnjava i odnos između sustava i okoline, pa se može govoriti o unutarnjoj (internoj) i vanjskoj (eksternoj) efikasnosti.

Efektivnost je također koncept, vezan uz efikasnost, ali se primarno odnosi na vanjsku (eksternu) efikasnost. Peter Drucker je, definirajući razliku, rekao:

Efikasnost je raditi stvari na pravi način, a efektivnost je raditi pravu stvar.[6]

Sustav može biti interno efikasan, ali ne nužno i eksterno efikasan, odnosno da ima efekt. Prema tome efikasan logistički sustav (efikasna logistika) je uspješan (djelotvoran), koji radi na najbolji mogući način i s najmanje gubitaka, dok je efektivan logistički sustav (efektivna logistika) adekvatan u ispunjenju svrhe, odnosno onaj koji ostvaruje namjeravani ili očekivani rezultat.

Efikasnost se može definirati kao stupanj korištenih resursa, što se može povezati s troškovima, a efektivnost kao stupanj postizanja ciljeva, što podrazumjeva ostvarenje optimuma više parametara vezanih na ispunjenje zahtjeva korisnika, pa prema tome logistički

⁷ Efikasan (lat. *efficace*) – uspješan djelotvoran, prema Klaić, *Riječnik stranih riječi*, Nakladni zavod MH, Zagreb, 1978., eng. *efficient* – radeći i funkcionirajući na najbolji mogući način i s najmanje gubitaka, prema Webster's *Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language*, Gramercy Books, NY, 1989.

Efikasnost – valjanost, djelotvornost, uspješnost, prema Klaić, *Riječnik stranih riječi*, Nakladni zavod MH, Zagreb, 1978., eng. *efficiency* – stanje ili kvaliteta biti efikasan (eng. *efficient*), prema Webster's *Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language*, Gramercy Books, NY, 1989.

Efektivan (od lat. *effectus* – efekt) – stvaran, realan, istinit, pravi, prema Klaić, *Riječnik stranih riječi*, Nakladni zavod MH, Zagreb, 1978., eng. *effective* – adekvatan u ispunjenju svrhe, onaj koji proizvodi namjeravani ili očekivani rezultat, prema Webster's *Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language*, Gramercy Books, NY, 1989.

Efektivnost, eng. *efficacious* – imati ili pokazivati željeni rezultat ili efekt, prema Webster's *Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language*, Gramercy Books, NY, 1989.

sustav treba težiti ostvarenju optimalnog nivoa ispunjenja zahtjeva korisnika u odnosu na troškove (efektivan), te smanjenju troškova logistike (efikasan).

2.2.1. Paradigme u logistici

Poznato je da se svaka znanstvena disciplina bazira na jednoj ili više paradigmi⁸. Paradigma je u znanosti podržana od grupe istraživača, ona postavlja teorijsku pozadinu, vrijednosti i vjerovanja znanstvenika, te određuje koji su problemi relevantni, koje se metodologije, tehnike i sl. koriste za rješavanje tih problema.

Činjenica je da su pristupi logistici (koncepti) danas prilično nekonzistentni i nekoherentni. Razlog tome su različiti trendovi kroz povijest, te pristup i poimanje logistike. Zbog toga *Charles Møller* u svojoj disertaciji navodi da je logistika višeparadigmatična znanost, te da se mogu odvojiti tri međusobno različite paradigme [6].

Klasična paradigma predstavlja klasični analitički pristup logistici koji je najviše zastupljen u SAD-u, gdje je logistika dobro uspostavljena znanost, ali odijeljena od upravljanja proizvodnjom. Ova paradigma bazira se na Operacijskom istraživanju. Poduzeće se promatra kao tehnički sustav u kojem se logistički problemi mogu izraziti kao modeli lokacije i tijeka. Dvije glavne točke u istraživanju su: 1) formuliranje modela i 2) efikasni algoritam za rješenje modela. Aktualna implementacija i ljudski faktor rijetko se razmatraju. Ta paradigma zasniva se na nekoliko osnovnih pretpostavki, npr. potpuni opis okoline sustava (zatvoreni sustav), a optimizacija joj je glavna prednost. Problemi su jasno definirani, te se istraživanje usredotočuje na određene metode i algoritme. Primjena tog istraživanja može se naći u velikim poduzećima procesne i masovne proizvodnje. No u “batch” proizvodnji, te proizvodnji prema narudžbi, gdje su problemi kompleksniji i dinamičniji, ta analitička paradigma nije baš prikladna.

Generička paradigma nastala je šezdesetih godina i uglavnom su je prihvatili praktičari u kompjuterskim i inženjerskim poduzećima. Teorijsko uporište za tu paradigmu nalazi se u teoriji sustava i teoriji informacija. Rješenja su najčešće kompjuterski modeli i informacijski sustavi. Princip se može ilustrirati MRP (Material Requirements Planning) sustavom. MRP se bazira na dekompoziciji poduzeća u generičke funkcije, svaka sa svojim zadacima, kontrolom, ulazima i izlazima. Kada se formuliraju generički problemi, moguće je razviti generičke kompjuterske funkcije za rješavanje tih problema. Težište je stavljeno na administrativne funkcije poduzeća: planiranje, nabava itd. Centralni element je podrška odlučivanju skupljanjem informacija i komunikacijom. Ova paradigma predstavlja “stanje prakse” (eng. *state-of-the-practice*) danas. Praktično, svako poslovanje u industriji bazira svoju administraciju logistike na MRP ili sličnim sustavima planiranja i kontrole. Sustavi kreirani pomoću te paradigme vrlo su pogodni za probleme u poduzećima s “batch” proizvodnjom. No, dinamika i fleksibilnost koje traži proizvodnja prema narudžbi, nisu zadovoljene.

Kada se razmatraju problemi bez funkcijske strukture, te se želi objasniti ponašanje takvog sustava, uz određenje rješenja za upravljanje, koristi se treći pristup – **konceptijska paradigma**. Ona se bazira na postavljanju apstraktnog koncepta, te opisu odnosa unutar koncepta. Jedan takav koncept je logistički lanac (eng. *supply chain*), a zagovornici te

⁸ Paradigma (grč. *paradeigma*) – uzorak, uzor, primjer, obrazac, prema *Klaić, Riječnik stranih riječi, Nakladni zavod MH, Zagreb, 1978*

paradigme su ljudi sa ekonomskom i organizacijskom pozadinom, te je ona bazirana na društvenim znanostima. Modeli te paradigme imaju za cilj objasniti i opisati odnose unutar logističkog sustava i konkurentne sposobnosti poduzeća. Modeli počinju s izborom strategije, te traženjem uzročnih veza strategije i logističkog sustava. Prethodne paradigme rješavaju nekoliko trivijalnih odnosa između varijabli. Ova se paradigma bavi s kompleksnim odnosima, predstavljenih s mnogo kvalitativnih varijabli. Danas ta paradigma predstavlja “stanje umjetnosti” (eng. *state-of-the-art*), jer se spoznaje samo djelomično koriste u industriji. Jedan od razloga je što su znanja apstraktna, a drugi razlozi su što se postojeće organizacije, informacijski sustavi, stil upravljanja i dr. temelje na prethodnim paradigmama i predstavljaju barijeru novim idejama.

2.2.2. Integrirana logistika

Tri paradigme nastale u različitim vremenskim periodima rezultat su tadašnjih tema istraživanja. Kada je nastala klasična, analitička paradigma, nije bilo kompleksnog shvaćanja logistike. Kompleksnost je bila samo u matematičkim modelima. Danas ta paradigma ne može riješiti probleme nedeterminističke prirode proizvodnje i konstantnih promjena. U generičkoj paradigmi kompleksnost je bila u sustavu. Ljudi su se razmatrali vrlo mehanistički i bili su smatrani funkcijama. Također danas pretpostavljena struktura organizacije generičke paradigme više ne postoji. Problemi otkriveni tom paradigmom doveli su do nužnosti razmatranja organizacijskih kompleksnosti logističkih zadaća. Konkurentnost u zadnjim godinama pomakla je logistiku iz unutarnje efikasnosti prema vanjskoj efektivnosti. Utjecaj poboljšanja produktivnosti je marginalan, a težište je prebačeno na kupce i zadovoljenje njihovih potreba. Tim problemima bave se pobornici treće, koncepcijske paradigme. No takav strateški orijentirani pristup ne uspijeva stvoriti operacijsku praksu.

Ciljevi istraživanja najčešće su isključivo unutar jedne paradigme, ali u praksi poduzeća koriste strategije, modele i tehnike iz svih paradigmi. U današnjoj situaciji, s automatiziranom opremom, kompjuterskim sustavima i dr., logistički menadžment našao se na višem nivou tehnološke kompleksnosti. Također, zbog globalizacije tržišta, interne specijalizacije i *outsourcinga*, partnerstva, važnosti ljudskih resursa, skraćivanja životnog ciklusa proizvoda i ekologije, što pak dovodi do potrebe za novim organizacijskim strukturama, logistički menadžment našao se na višem nivou i organizacijske kompleksnosti. Rezultati istraživanja pokazuju da postojeće paradigme, zasebno ili zajedno, nisu u stanju riješiti probleme nove situacije [6]. Potrebna je nova paradigma koja će uključiti i ljudsku i tehnološku dimenziju, a koja se u literaturi najčešće naziva paradigma **integrirane⁹ logistike** (eng. *integrated logistics*), a kao sinonim za integrirani logistički lanac može se naći naziv totalni logistički lanac.

Tehnološka i organizacijska kompleksnost u kojoj su se našla poduzeća danas, daju logistici novu i važnu stratešku ulogu. Logistika prestaje biti samo sredstvo reaktivnog smanjenja troškova, te postaje proaktivna ključna komponenta proizvodne strategije. Upravljanje logistikom ide s ciljem konkurentnosti u uslugama korisnicima, vremenu i kvaliteti. Zbog konkurentne okoline, zahtjeva za visokim performansama te nesigurnosti, ono je postalo vrlo složena zadaća. Prije je tijek materijala bio podijeljen u nabavu, proizvodnju i distribuciju, a logističke aktivnosti uključivale su upravljanje zalihama, transport i opću koordinaciju tijeka materijala kroz poduzeće. Danas tijek materijala prolazi kroz različite organizacije, funkcije i

⁹ Integriran (od lat. *integrare* – integrirati), eng. *integrated* – kombiniranje ili koordiniranje odijeljenih elemenata da se stvori harmonična, međuzavisna cjelina, prema *Webster's Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language*, Gramercy Books, NY, 1989

informacijske sustave i potrebno ga je gledati kao jedan entitet, te ga optimizirati s obzirom na usluge i troškove. Integrirana logistika je nova percepcija poslovanja, gdje se pojedina sama poduzeća, ili pojedini odjeli ili funkcije, ne promatraju kao nezavisne jedinice, već kao dio cjeline, a tijekom materijala je objekt koji integrira poduzeće ili više poduzeća (virtualno poduzeće). Logistika je jedan od integratora svih aktivnosti i sustava koji su izravno ili neizravno vezani za tijek materijala.

Sama optimizacija na ovakvom nivou nije jednostavna i zahtjeva razvoj novih inženjerskih koncepata baziranih na naprednoj informatičkoj i komunikacijskoj tehnologiji, te tehnologiji odlučivanja pri projektiranju, planiranju i kontroli u logistici, što je zadaća inženjerske logistike (eng. *engineering logistics*). Inženjerska logistika koristi znanstvene principe, matematičke metode i informatičku tehnologiju kao fundamentalne alate za oblikovanje logističkih lanaca, planiranje logističkih procesa i rad logističkog sustava. Ne smije se zaboraviti upravljanje logističkim procesima i odnosima, na što se tipično fokusira poslovna logistika (eng. *business logistics*). Da bi mogla reagirati na brze promjene na tržištu, uz korištenje novih tehnoloških mogućnosti, poduzeća moraju rekonstruirati svoje poslovne procese. Jedan od pristupa rekonstrukciji je preoblikovanje poslovnih procesa, (eng. *Business Process Reengineering, BPR*), u kojem se informacije i informatička tehnologija nazivaju kritičnim faktorom uspjeha. Turner [9] u svom radu navodi:

“Informacijska tehnologija je ključni faktor u integriranju logističkog lanca, ali ispravno logističko integriranje jedino je moguće ispravnim korištenjem prave vrste informacijske tehnologije u kombinaciji sa značajnim procesom rekonstrukcije.”

Inženjerska i poslovna logistika moraju zajednički raditi na integraciji novih tehnologija u logistički sustav i upravljanje logističkim procesom.

2.3. Modeliranje logističkih lanaca

U procesu oblikovanja logističkih lanaca, koji bi trebali biti pomoću novih tehnologija integrirani i rezultat rekonstrukcije proizvodnih procesa, veliku ulogu imat će alati i tehnike za oblikovanje i analizu logističkih lanaca, kao pomoć pri donošenju odluka. Korištenje tih alata i tehnika naziva se modeliranje, koje rezultira modelom logističkog lanca, u numeričkom, grafičkom ili logičkom obliku, takvim da ga se može testirati. Navedeni postupak omogućuje oblikovanje različitih varijanti, njihovu analizu i obabir najbolje, bez rizika koje mogu donijeti stvarne promjene. Kao što je već rečeno, veliki broj tehnika i metoda, najčešće kao sastavnog dijela Operacijskog istraživanja, već se uveliko koristi u logistici, i to za planiranje i upravljanje primarnih logističkih aktivnosti. Takvo korištenje je u svrhu analize i optimalizacije pojedinih karakteristika. Za određivanje skupa svih karakteristika, što bi bio rezultat optimalizacije čitavog logističkog lanca, još uvijek nema odgovarajućih modela niti metodologija, što je i razumljivo s obzirom na kompleksnost, nedeterminiranost i dinamiku današnjih logističkih lanaca. Postoje i određeni pokušaji, o kojima nešto više u poglavlju 7.

2.4. Zadaća, ciljevi i sistematizacija skladišta

Modeliranje i projektiranje, odnosno oblikovanje logističkog lanca temelji se na određenim odlukama i podacima kao što su:

- Broj proizvodnih pogona i skladišta
- Lokacije pogona i skladišta

- Veličina pogona i skladišta
- Izbor dobavljača
- Odluke vezane za tijek materijala između dobavljača, pogona, skladišta i korisnika
- Logističke operacije unutar pogona i skladišta

Vidljivo je iz navedenog da se u modernom oblikovanju logističkog lanca velika pažnja mora, između ostalog, posvetiti skladištima i procesima unutar skladišta. U oblikovanju skladišta, kao jednom dijelu logističkog lanca, koriste se brojni modeli, razvijeni za oblikovanje pojedinih zona skladišta. Kako se jedan logistički lanac treba promatrati kao jedan entitet, čiji dijelovi su u međusobnoj interakciji, tako se i modeli pojedinih dijelova moraju povezati, a to se može ostvariti pomoću ulaznih i izlaznih parametara dijelova logističkog lanca. Shodno tome, potrebno je integrirati postojeće razvijene modele u jedan veći i opći model za oblikovanje logističkih lanaca. Za sada su ti napori još uvijek bez konačnog rezultata, a velika većina modela koristi se za oblikovanje pojedinih dijelova logističkog lanca.

Ovisno o ulozi skladišta u logističkom lancu i značajkama procesa do uskladištenja, mogu se razlikovati dva tipa skladišta: distribucijski centar¹⁰ i proizvodno skladište. Distribucijski centar je karika logističkog lanca u području distribucije robe, u kojem se skupljaju proizvodi od jednog ili više dobavljača, te se dostavljaju kupcima. Proizvodno skladište je pak karika logističkog lanca u području proizvodnje, koristi se za skladištenje sirovina, poluproizvoda i gotovih proizvoda u proizvodnom okružju.

U svezi prihvaćene definicije logističkog lanca na str. 2-3, može se reći da je logistički lanac u području proizvodnje (logistički lanac nekog industrijskog poduzeća) mreža dijelova tog poduzeća koji su povezani u procese izrade i uslužne djelatnosti kojima se ostvaruju ciljevi poslovanja poduzeća. U istom smislu, logistički lanac u području distribucije je mreža organizacija koje su uključene u različite procese vezane za opskrbu tržišta.

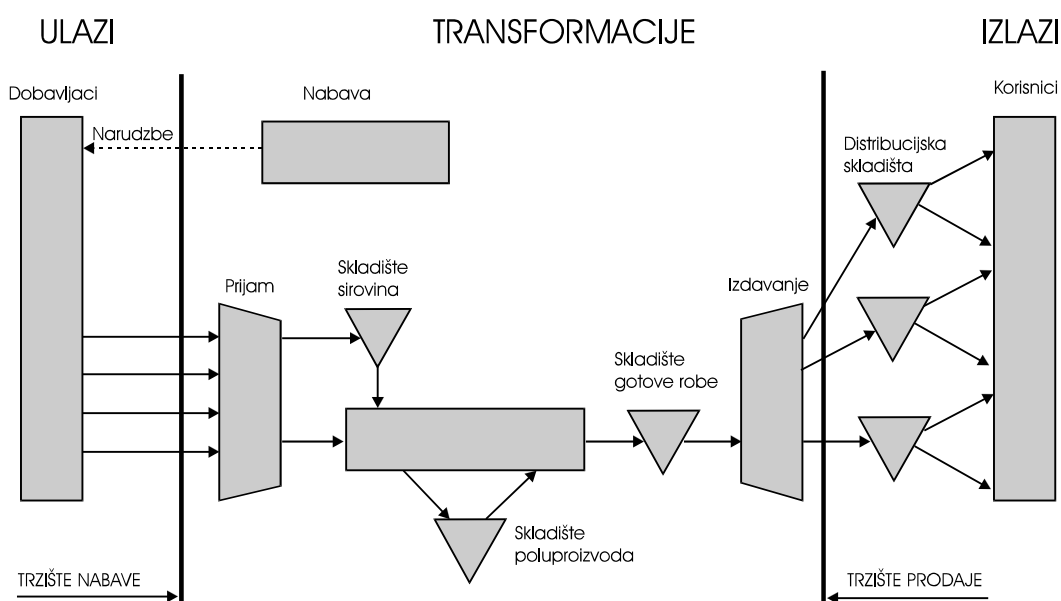
U svakom proizvodnom poduzeću, korisnim transformacijama tijekom procesa, povećava se vrijednost¹¹ materijalu. Bilo da su to sirovine, poluproizvodi ili gotovi proizvodi, jednim imenom nazivaju se materijali. Ti materijali imaju svoj tijek kroz poduzeće preko prijama od dobavljača, transformacija, do izdavanja robe distributerima ili drugim organizacijama u većem lancu, i sve te aktivnosti povezane su s određenim troškovima. Slika 2.2. prikazuje opisani tijek materijala grafički. Činjenica je da u stvarnim procesima gotovo nema materijala koji, planirano ili neplanirano, ne prođe kroz fazu mirovanja – skladištenja ili odlaganja, što je također vidljivo na slici 2.2. Sa stajališta troškova poslovanja idealno je rješenje da nema skladištenja i troškova vezanih uz skladištenje. Sa stajališta troškova proizvodnje svako skladištenje znači prekid procesa što produljuje ciklus proizvodnje, pa time i povećava troškove i ima utjecaj na ispunjavanje zahtjeva kupaca. Zbog čega onda postoji skladištenje?

Zbog dinamike i nesigurnosti današnjeg tržišta, proizvodna poduzeća bez zaliha su idealizirano stanje. Određene zalihe, odnosno skladištenje i odlaganje materijala, nužno je zbog dinamičkog uravnoteženja tijekom materijala, i u većem lancu, i u samom poduzeću, u svim fazama proizvodnog procesa. Postojanje zaliha gotovih proizvoda rezultat je potrebe da se odgovori na zahtjeve korisnika u kraćem vremenu nego što traje proizvodni ciklus.

¹⁰ Distribucijski centar = distribucijsko skladište

¹¹ U stranoj literaturi koristi se izraz *value added*, pa se za povećanu vrijednost može reći i dodana vrijednost. Kako je uobičajeno da se vrijednost materijalu povećava procesom izrade (procesom rada, definicija ASME standarda), mora se ovdje napomenuti da je to povećanje vrijednosti zbog promjene oblika (eng. *form utility*), no u širem smislu, imati materijal na pravom mjestu i u pravo vrijeme (aktivnostima koja direktno ne doprinose povećanju vrijednosti oblika), što je zadatak logistike, također povećava vrijednost materijalu (eng. *temporal and spatial utility*) [2]

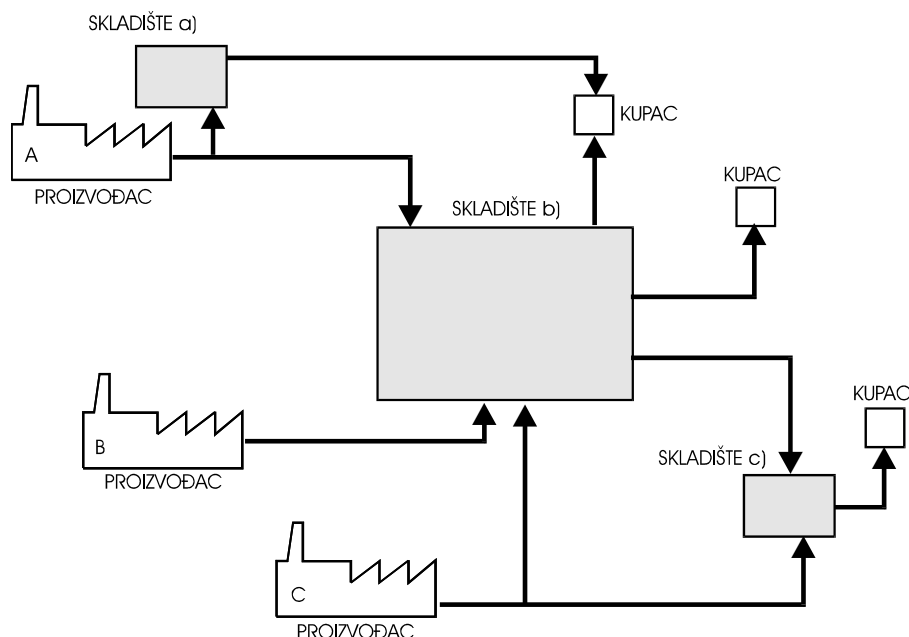
Također zalihe gotovih proizvoda štite poduzeće od loših predviđanja zahtjeva tržišta. Postojanje zaliha sirovina štiti poduzeće od prekida nabave. Akumulacija zaliha u procesu proizvodnje potrebna je zbog različitih protoka kroz pojedina mjesta u procesu transformacije. Poduzeća također akumuliraju zalihe kao rezultat kupovanja većih količina da smanje troškove narudžbe, ili kao rezultat proizvodnje većih količina na proizvodnoj liniji, da se smanje troškovi vezani za podešavanje opreme za proizvodnju. Vidljivo je da se ne može eksplicitno reći da su zalihe loše ili dobre. Prevelike zalihe uzrokuju povećane troškove skladištenja, potrebu za više prostora, a mogu dovesti i do zastarijevanja proizvoda koji se nalaze na skladištu. Poznato je da, ekonomski gledano, zalihe predstavljaju mrtvi kapital. Poduzeća zbog toga ulažu napore da istraže alternative koje uklanjaju razloge postojanja zaliha, i takva su rješenja poznata kao JIT proizvodnja. Iz navedenog se daje zaključiti da je potrebno pronaći količine zaliha za koje će ukupni troškovi vezani uz te zalihe biti minimalni, za što su razvijeni mnogi modeli metodama operativnog istraživanja (vidi *Dilworth* [3], *Vila* [30] i točku 4.3.1.1.) te pristupi upravljanja zalihama (vidi *Moder* i *Elmaghraby* [31]).



Slika 2.2. Tijek materijala kroz proizvodno poduzeće

Analogno skladištima unutar poduzeća, u distribucijskoj mreži skladište može služiti jednom od slijedećih zahtjeva, prikazano na slici 2.3.:

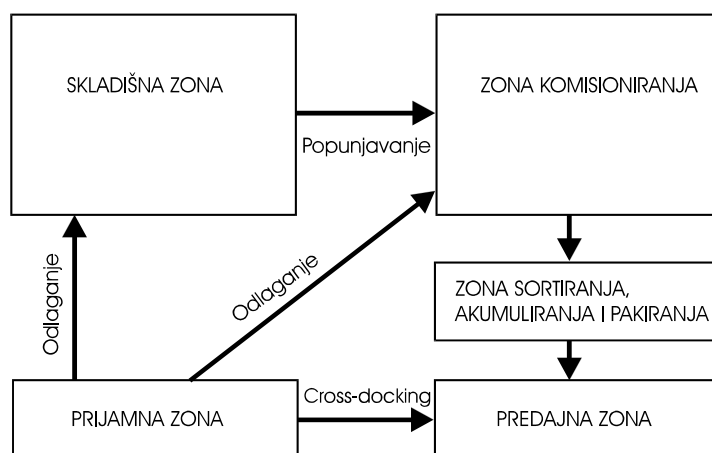
- Može držati zalihe koje služe za balans i sigurnost zbog razlika između proizvodnih termina i zahtjeva korisnika. Za tu svrhu, skladište je obično smješteno blizu proizvodnih pogona i može biti karakterizirano tijekom punih paleta van i unutra, pod pretpostavkom da oblik i veličina proizvoda opravdava uporabu paleta. Skladište sa samo tom funkcijom može imati zahtjeve od mjesečne do kvartalne popune zaliha slijedećeg nivoa distribucije.
- Skladište može poslužiti da akumulira i “sjedini” proizvode s različitih mjesta proizvodnje, bilo od jednog poduzeća bilo od više njih, za dostavu zajedničkim korisnicima. Takvo skladište može biti smješteno ili u centru proizvodnih lokacija ili u centru korisnika. Takvo skladište tipično odgovara tjednim ili mjesečnim narudžbama.
- Skladišta mogu biti raspoređena tako da skraćuju transportne udaljenosti, a da se udovolji zahtjevu za brzom dostavom korisnicima. Izuzimaju se pojedinačni proizvodi koji se mogu dostavljati korisnicima svakog dana.



Slika 2.3. Funkcija skladišta u tipičnoj distribucijskoj mreži

Naziv i pojam *skladište* zapravo je sinonim za *skladišni sustav*. Skladišni proces generalno je skup svih aktivnosti s materijalom i u vezi njega u skladištu, u svrhu ispunjenja određene funkcije u skladištu. Svako skladište sastoji se od određenih zona, a tijekom materijala između i unutar pojedinih zona ostvaruje se pojedinim podprocesima, odnosno skupom aktivnosti. Na slici 2.4. prikazane su moguće zone, funkcije i tijek materijala, neovisno da li se radi o proizvodnom ili distribucijskom skladištu.

Iako se skladištenje uglavnom povezuje s mirovanjem materijala, postoje mnoge aktivnosti koje se događaju pri ulazu i izlazu materijala iz skladišta, te u samom skladištu. *Tompkins et al.* [15] navodi slijedeće aktivnosti koje se mogu naći gotovo u svakom skladištu, što je vizualizirano na slici 2.4.:



Slika 2.4. Tipične skladišne funkcije, zone i tijek materijala

- a) *Prijam* je skup aktivnosti koje uključuju preuzimanje i pregled svih materijala koji dolaze u skladište prema narudžbama, radi kontrole kvalitete i količine.
- b) *Prepakiranje* se obavlja u skladištu kada se proizvodi primaju od dobavljača u rasutom stanju, ili radi odlaganja u regale. Prepakiranje se događa i pri pripremi robe za izdavanje, pakiranjem u prodajne količine (jedan ili više različitih proizvoda zajedno).
- c) *Odlaganje* je aktivnost stavljanja robe u zonu skladištenja. Sastoji se od transporta i postavljanja materijala na mjesto uskladištenja.
- d) *Skladištenje* je fizičko čuvanje robe u zoni skladištenja dok čeka zahtjev za izdavanje
- e) *Komisioniranje* je proces prikupljanja materijala iz skladišta radi ispunjenja određene narudžbe. Predstavlja osnovnu uslugu koju skladište daje korisnicima i funkcija je na kojoj se baziraju sva oblikovanja skladišta.
- f) *Pakiranje i/ili označavanje* može se opcionalno obaviti nakon komisioniranja. Kao i u funkciji prepakiranja, pojedinačni proizvodi se spajaju radi lakšeg rukovanja
- g) *Sortiranje* “batch” komisionirane robe u pojedine narudžbe i *akumuliranje* distribuirane robe u narudžbe mora se obaviti kada narudžba ima više proizvoda a akumulacija nije obavljena u procesu komisioniranja.
- h) *Izdavanje* može uključivati slijedeće zadaće: provjera točnosti narudžbe, punjenje kontejnera robom, priprema dokumenata za izdavanje, mjerenje težine, utovar vozila...
- i) *Prebacivanje (cross-docking)* primljene robe iz prijamne zone izravno u predajnu zonu.
- j) *Popunjavanje* primarnih lokacija komisioniranja robom iz rezervnih lokacija uskladištenja.

Prikazane zone i navedene aktivnosti vrijede generalno. Neke aktivnosti ne moraju se pojaviti u svim skladištima. Aktivnosti a) i b) obavljaju se u prijamnoj zoni, i mogu se zajednički nazvati prijam. Nadalje, aktivnosti c) i d) mogu se nazvati skladištenje, aktivnosti e), f), g) mogu se zajednički razmatrati kao komisioniranje. Na taj način može se govoriti o četiri glavne aktivnosti u skladištu: **prijam, skladištenje, komisioniranje i izdavanje**. Kao takve aktivnosti u skladištu bit će obrađene u radu detaljnije u 5. poglavlju, uz opis crossdockinga koji se sve više pojavljuje u modernim skladištima. Ovakva podjela odgovara podjeli skladišta na: **prijamnu zonu, zonu skladištenja, zonu komisioniranja i predajnu zonu**, uz napomenu da se prijam i izdavanje mogu obavljati u jednoj, prijamno/predajnoj zoni, dok se komisioniranje može obavljati u zoni skladištenja bez fizički odijeljene zone komisioniranja od zone skladištenja, što je najčešći slučaj kod manjih proizvodnih skladišta.

Kao što je poznato, glavne zadaće skladišta su dinamičko uravnoteženje tijekova materijala u svim fazama procesa, bez obzira radi li se o području proizvodnje ili području distribucije. Ta se zadaća tehnički ostvaruje različitim izvedbama, a obzirom na vrste sredstava za skladištenje rješenja mogu biti¹²:

1. Podna skladišta

- skladište s odlaganjem u blokovima
- skladište s odlaganjem u redovima

2. Regalna skladišta

- paletno skladište
- polično skladište
- prolazno skladište
- protočno skladište

¹² Detaljniji opis pojedinih tipova skladišta u Oluić [12]

- pokretno skladište
- konzolno skladište
- visokoregalna skladišta

3. Posebne izvedbe skladišta (kontejnerska, pokretna,...)

Navedeni kriterij, vrsta sredstava za skladištenje u navedenoj sistematizaciji predstavlja samo jednu njegovu značajku: tehničko rješenje opreme za smještaj materijala. Sistematizacija skladišta može biti i po drugim značajkama (kapacitet, cijena, ...). Navedena sistematizacija odabrana je s ciljem da se kompletira skup pojmova bitnih za ovaj rad.

3. SKLADIŠNI MENADŽMENT

Iako je lako smatrati skladište kao mjesto gdje se skladišti (miruje) materijal, postoje mnoge aktivnosti koje se pojavljuju kao dio procesa ulaska materijala u skladište, odnosno izlaska iz skladišta. JIT proizvodna filozofija preselila se iz proizvodnje i u distribuciju. Gdje je nekad bilo dostatno distribuirati 100 jedinica u ponedjeljak da se ispuni tjedna narudžba, danas je potrebno dostaviti 20 jedinica svakog radnog dana u tjednu. Distribuirati se ista količina materijala, ali ima 5 puta više transakcija. Quick Response (brzi odgovor) program smanjio je vrijeme za odgovor na zahtjeve kupaca. Vrlo brzo standard za vrijeme izvršenja narudžbe postaje isti dan ili preko noći. Smanjeno vrijeme za odgovor limitira moguće strategije povećanja produktivnosti, te postavlja povećane zahtjeve na funkcionalnost i kapacitet kontrolnog sustava u skladištu i sustava za rukovanje materijalom. Zahtjev za kvalitetom se također preselio iz proizvodnje u skladišta i distribucijske centre. To je kvaliteta ispunjenja točnosti izvršenja narudžbe. Kao rezultat, standardi za točnost izvršenja narudžbe povećali su se dramatično. Danas je prosječna točnost izvršenja narudžbe u SAD oko 99%, no već i japanska točnost od 99,99% polako postaje standard u većini poduzeća [15]. Obnovljeni naglasak na usluge kupcima povećao je u skladištima broj i vrstu usluga s dodavanjem vrijednosti. To je također povećalo broj jedinstvenih jediničnih tereta u tipičnom skladišnom ili distribucijskom centru. Konačno, povećana briga za očuvanje okoliša, ušteda prirodnih resursa i zaštita ljudi na radu, rezultat je sve strožijih zakonskih regulativa na oblikovanje i upravljanje skladištima.

Prema svemu navedenom može se zaključiti da se u procesu skladištenja ostvaruju aktivnosti koje dodaju vrijednost materijalu, ali mogu povećati i troškove vezane uz te aktivnosti. Planiranjem i oblikovanjem skladišnog sustava može se postići povećanje odnosa dodane vrijednosti i dodanih troškova, a što je cilj efektivne logistike.

Svakom planiranju i oblikovanju sustava, pa tako i skladišnog sustava, svojstveno je donošenje određenih odluka. Odluke koje su vezane uz skladišta najčešće se u literaturi nazivaju skladišne odluke, a menadžeri koji ih donose skladišni menadžeri, pa će se u ovom radu također koristiti navedeni nazivi. Uglavnom se klasificiraju prema vremenu za koje se donose, pa se nazivaju dugoročne (strateške), srednjoročne (taktičke) i kratkoročne (operativne) skladišne odluke, što pak implicira tri nivoa odlučivanja: strateški, taktički i operativni.

Kako izravno eksperimentiranje u smislu testiranja alternativa, što se skladišta tiče, nije prihvatljivo, kao pomoć pri donošenju odluka koristi se modeliranje. Za donošenje odluka na strateškom, taktičkom i operativnom nivou razvijeno je mnogo modela koji kao bazu imaju matematičku teoriju. No potrebno je imati na umu da je skladište samo jedan dio većeg sustava, logističkog lanca. Također se i skladište sastoji od svojih podsustava, odnosno skladišni proces od više različitih podprocesa (aktivnosti). Pojedini modeli za optimizaciju određenih podsustava ili aktivnosti, ako ih se promatra nezavisno od sustava ili procesa u kojima se nalaze, bit će zapravo samo suboptimizacija. Zato je potrebno te modele promatrati iz perspektive cjelokupnog sustava, s ciljem ostvarenja optimalnih rješenja.

U ovom poglavlju analizira se i prikazuje značaj menadžerskog odlučivanja općenito i u postupku oblikovanja i projektiranja skladišta, te odluke koje donose skladišni menadžeri na sva tri nivoa odlučivanja. U slijedećem poglavlju opisuju se odluke temeljene na empiričkim saznanjima, dok se u poglavlju 5. analiziraju modeli koji se koriste kao pomoć pri donošenju

skladišnih odluka, od strateškog do operativnog nivoa. Kod toga se daje naglasak na međurelacije između tih modela koje treba uzeti u obzir pri optimizaciji cjelokupnog sustava.

3.1. Odlučivanje

U prošlosti, u uvjetima nerazvijene industrije i tržišta, bilo je vrlo jednostavno donošenje određenih poslovnih odluka. U okružju nisu postojala specijalna ograničenja, pa je ponašanje i odlučivanje u takvim organizacijama bilo u skladu s teorijom zatvorenog sustava, na koji okružje nije imalo utjecaja. U to vrijeme nastala je normativna teorija odlučivanja, koja se bazirala na matematičkom pristupu odlučivanju. Te teorije smatrale su da donosilac odluke

- 1) poznaje sve moguće alternative dane situacije, sve konzekvencije i sve rezultate svakog mogućeg puta,
- 2) posjeduje metode i tehnike za rješavanje unutar svake alternative, kao i vrednovanje konačnih rezultata svake alternative,
- 3) može prema tome izabrati vrlo jednostavno najpovoljniju alternativu.

Tako se donošenje odluka temeljilo na pretpostavci o vrlo stabilnom okružju, korištenju matematičkih i statističkih metoda, razvijenih u područjima Operativnog istraživanja (*Operations Research*, OR) i znanosti o menadžmetu (*Management Science*, MS)¹³. Donošenje takvih odluka bilo je potpuno racionalno.

U suvremenom poslovanju okružje poslovnih sustava je vrlo nesigurno i promjenjivo. Zbog toga je donošenje ispravnih odluka otežano, a proces odlučivanja ograničeno racionalan. Također se ne može zanemariti i ljudski faktor, koji je nemoguće obuhvatiti matematičkim modelima.

Odlučivanje je zadatak menadžera, i zapravo je dio svih menadžerskih aktivnosti. Još je Herbert Simon¹⁴ rekao:

“Nalazim za shodno da si uzmem izvjesnu slobodu s engleskim jezikom time što ću upotrijebiti izraz donošenje odluka kao sinonim za menadžment.”

Menadžeri moraju donositi odluke u vezi ciljeva i planova njihovih organizacijskih jedinica. Oni moraju odlučiti kako usmjeriti, kako organizirati, kako kontrolirati. Odlučivanje je bit matematičkih i statističkih alata u MS/OR. No potrebno je uvijek imati na umu da se odlučivanje, odnosno menadžment, ne sastoji samo od matematičkih i statističkih alata, već su oni samo pomoć pri donošenju odluka. U samom procesu odlučivanja, u nepovoljno strukturiranim situacijama, nije moguće potpuno kvantitativno opisati problem i donijeti potpuno racionalnu odluku, pa se koristi kreativnost menadžera, iskustvo i intuicija. Također se u implementaciji odluke, koja je također zadatak menadžera, pojavljuju određeni faktori koji se ne mogu kvantitativno opisati (prihvatanje ideja, vodstvo vrha, utjecaj ljudi), a koje izučava behavioristička škola menadžmenta.

¹³ U literaturi se koriste i nazivi znanost o upravljanju odnosno znanost o organizaciji. Također, iako su se u literaturi područja OR i MS pokušala odijeliti, u oba su matematički i statistički modeli osnovni alati, pa se u pomanjkanju jasne odijeljenosti u stručnim krugovima javlja i oznaka MS/OR. [11]

¹⁴ Herbert Simon, ekspert na području menadžmenta, dao osnovne temelje znanstvenoj disciplini Teorija odlučivanja. Jedini nobelovac sa područja organizacije i menadžmenta.

Donošenje odluke je radnja izbora neke akcije između različitih alternativa. No jasno je da se u većini slučajeva ne mogu sve alternative isprobati u stvarnosti. Zbog toga se one razmatraju apstraktno, korištenjem modela stvarnog procesa, sustava ili podsustava. Glavna pomoć pri tome su matematički i statistički alati.

Proces donošenja odluka nije uvijek isti, postoje različiti postupci i uvjeti, tako da se odluke mogu klasificirati prema raznim kriterijima¹⁵ :

1. Prema subjektu odlučivanja:

- a) individualne ili
- b) grupne odluke.

2. Prema vremenu za koje se donose:

- a) strateške ili dugoročne odluke. Njima se određuju dugoročni ciljevi i poslovna politika, te rezultati koji iz toga moraju proizaći.
- b) taktičke ili srednjoročne odluke, vezane uz srednjoročne zahvate pomoću kojih će se postići strateški ciljevi. Ove odluke definiraju i akcije koje se moraju poduzeti, a sve na osnovi planova koji se za taj period moraju razrađivati.
- c) operativne ili kratkoročne odluke, kratkoročnog tipa, od svakodnevnih vezanih za tekuće poslovne procese, pa do odluka o konkretnim akcijama koje je potrebno poduzeti kako bi se ostvarile zamisli taktičkog nivoa.

3. Prema značajkama polazišta u odlučivanju :

- a) kvantitativne – to su odluke gdje je postupak odlučivanja proveden na bazi eksplicitnih brojčanih pokazatelja. Kriteriji odluke i svi podaci su mjerljive veličine koje se mogu uspoređivati, kvantitativno analizirati i koristiti u raznim matematičkim relacijama pomoću kojih se traže optimalna rješenja.
- b) kvalitativne – to su odluke gdje je postupak odlučivanja proveden na bazi tekstualnih i verbalnih opisa situacije, zadatke, problema ili nekog zbivanja. Do zaključaka se dolazi iz rasprava, proučavanja tekstova, komuniciranja među ljudima, mišljenja pojedinaca i grupa, procjena pa i intuicije.

4. Prema uvjetima u kojima se sustav nalazi

- a) pod uvjetima sigurnosti – odluka se donosi u situaciji u kojoj su svi uvjeti poznati, a razumjevanje situacije je potpuno.
- b) pod uvjetima rizika – odluka se donosi u uvjetima kada krajnji rezultati nisu potpuno sigurni, već postoji samo određena vjerojatnost da će se ostvariti. Razni faktori, varijable i kriteriji ocijenjeni su s izvjesnim vjerojatnostima.
- c) pod uvjetima nesigurnosti – odluka se donosi u situacijama gdje nam svi podaci i informacije nisu poznati, a za poznate faktore, parametre i varijable nismo u stanju ocijeniti veličinu vjerojatnosti.

5. Prema načinu donošenja odluke mogu biti

¹⁵ Klasifikacija odluka prema Vila [11]

- a) programirane – to su odluke koje su najčešće repetitivne, pa ih zovemo i rutinske odluke. Pojavljuju se u situacijama koje se ponavljaju u istom obliku, i u kojima možemo definirati niz pravila i instrukcija za rješenje (algoritam).
- b) neprogramirane – to su odluke koje se donose u situaciji koja nije potpuno jasna, a ni pravila pomoću kojih bi se slučaj riješio nisu posve jasna pa prema tome nije moguće odrediti postupak kao slijed koraka do rješenja.

6. Prema “stupnju dobrote” odluke mogu biti

- a) optimalne – odluke koje su najbolje u određenoj situaciji, a odnose se na cijeli sustav. Ponekad se to naglašava terminom totalno optimalne odluke.
- b) suboptimalne – odluke koje su optimalne, ali se odnose samo na određeni podsustav kao dio cijelog sustava.

Za ovaj rad relevantna je sistematizacija prema vremenskom razdoblju za koje se donose odluke, tako da u nastavku slijedi analiza takvih odluka.

3.2. Strateške skladišne odluke

Strateške odluke su dugoročne odluke s ciljem određenja politika i planova korištenja resursa poduzeća za najbolju podršku dugoročnoj konkurentskoj strategiji. Strateške skladišne odluke prema tome odnose se na dugoročne odluke u vezi korištenja resursa poduzeća vezano na skladišta. To su, npr. odluke: Koliko distribucijskih centara trebamo?, Na koja tržišta ćemo plasirati proizvod?, Na kojim lokacijama ćemo locirati skladišta?, Koje performanse treba imati skladište? Odluke kao odgovori na navedena pitanja rezultat su strateškog planiranja (eng. *strategic planning*).

Izraz strategija ima originalne korijene u vojsci. Strategija kao riječ dolazi od grčke riječi *strategos* i prvotno je definirana kao znanost i vještina vojničkog zapovijedanja kroz odluke koje osiguravaju prednost u borbi s neprijateljem. Prema *Webster's Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language, Gramercy Books, NY, 1989.*, strategija se definira kao “znanost i umijeće iskorištenja vojnih snaga za ostvarenje ciljeva rata”. Danas se izraz strategija često koristi u politici, sportu, ulaganjima i poslovanju. Ovo posljednje je od interesa za nas.

Bazirano na navedenoj definiciji strategije, *poslovna strategija* se može definirati kao *umjetnost i znanost iskorištenja resursa poduzeća da se postignu poslovni ciljevi*. Resursi koji su dostupni mogu se podijeliti u marketinške, proizvodne i distribucijske resurse. Prema tome, mogu se razviti marketinška, proizvodna i distribucijska strategija da podrže ostvarenje poslovnih ciljeva. U povijesti je razvoj strategije poduzeća izričito bio posao najvišeg menadžmenta. Poslovna strategija bila je limitirana na razmatranje profita, financija i marketinga. Zbog toga su odluke često bile bez jasnog razumjevanja utjecaja na proizvodnju i distribuciju, kao i na podršku funkcija kao što su planiranje pogona i skladišta, sustava rukovanja materijalom, informacijskih sustava, i nabave.

Danas je nužnost da se u proces strateškog planiranja uključi razvoj proizvodne i distribucijske strategije. Prema *Skinneru*, “kada kompanija ne uvidi vezu između proizvodnih odluka i strategije poduzeća, može se naći u nekonkurentskom proizvodnom sustavu koji je skup i za čije promjene je potrebno mnogo vremena. Proizvodnja ima utjecaj na strategiju poduzeća, i strategija poduzeća ima utjecaja na proizvodnju.” [19]

Proizvodna strategija mora se integrirati s ostalim elementima ukupne poslovne strategije.

Isto tako, svako strateško planiranje distribucijske mreže mora se bazirati na njenoj ulozi u cijelom logističkom lancu poduzeća [10], te se i distribucijska strategija mora također

integrirati s ostalim elementima ukupne poslovne strategije. Svaki element organizacije mora imati strateški plan koji podržava ciljeve poduzeća.

Skladištenje, kretanje, zaštita i kontrola materijala su aktivnosti procesa skladištenja i moraju se obuhvatiti proizvodnom i distribucijskom strategijom [15].

3.2.1. Strategija poduzeća

Da bi u današnjim suvremenim uvjetima poslovanja neko poduzeće opstalo i ostalo konkurentno, od vitalnog je značenja donošenje ispravnih odluka koje postavljaju opće ciljeve i usmjeravaju sve dijelove poduzeća k tim ciljevima. Za te odluke odgovorni su vrhovni (eng. *top*) menadžeri. Takve odluke imaju dugoročni utjecaj na opći smjer i osnovni značaj poduzeća, te se, kao što je već rečeno, nazivaju *strateške odluke*.

Prema *Dilworthu* [3], vrhovni menadžeri formuliraju strategiju da odrede što definirani smjer i vođenje kompanije. Strategija je dugoročni glavni plan kojim kompanija prati svoju *misiju*, koja predstavlja fundamentalnu svrhu postojanja kompanije, te utvrđuje opći smjer kretanja kompanije. Pri formuliranju strategije kompanije, vrhovni menadžeri donose dalekosežne odluke i postavljaju ciljeve. Pri tome korporativna strategija definira kojim poslovima će se kompanija baviti, dok poslovna strategija definira na koji način će se kod pojedinih poslova konkurirati [21].

Opća politika i ciljevi organizacijskih jedinica na nižoj razini vode i koordiniraju odluke na tim nivoima organizacije. Tako i proizvodnja, odnosno distribucija, razvijaju strategije za postizanje ciljeva dodijeljenih tim organizacijskim jedinicama, tzv. funkcionalne strategije. Svaka pak razvija i svoju taktiku, koja je srednjoročni plan fokusiran na taj manji dio cijele organizacije. Do postizanja ciljeva funkcionalnih strategija dovodi pak kratkoročno (operativno) odlučivanje te svakodnevne aktivnosti, definirani taktičkim zadacima.

3.2.2. Strategija proizvodnje

Kao što je rečeno u prethodnoj točki, od vitalnog značaja za konkurentnost na tržištu je donošenje ispravnih dugoročnih odluka, odnosno ispravna strategija. Ne zanemarujući važnost ostalih funkcija poduzeća, potrebno je naglasiti da je u zadnjim godinama funkcija proizvodnje ono mjesto gdje se događaju najznačajniji pomaci u tom pravcu. Općenito, poduzeće može konkurirati na tržištu s tri karakteristike svojih proizvoda ili usluga. To su **kvaliteta**, **cijena** i **dostupnost** [10]. Stupanj kvalitete proizvoda ili usluge ostvaruje funkcija proizvodnje. Za proizvodnju je povezan najveći dio ljudi i kapitala poduzeća, a isto tako to je i mjesto troška većine troškova proizvoda ili usluge. Konačno, i rokovi isporuke uvelike ovise o sposobnosti funkcije proizvodnje. Jasno je, dakle, da funkcija proizvodnje ima najveći utjecaj na troškove, kvalitetu i dostupnost proizvoda i usluge. Zbog svega navedenog velika je važnost ispravne proizvodne strategije, konzistentne s općom strategijom, podržavajući ciljeve organizacije.

Poznato je da su tradicionalne strategije zasnovane na minimalizaciji troškova, diferencijalizaciji proizvoda, ili usmjerenosti na određena tržišta. Ne napuštajući ni te strategije, danas mnoga poduzeća prihvaćaju i nove strategije, zasnovane na kvaliteti i vremenu [21].

Strategije zasnovane na kvaliteti su usmjerene na zadovoljavanje potreba i želja kupaca integriranjem kvalitete u sve faze i sve procese u organizaciji i angažiranjem kroz to svih zaposlenih na njenom kontinuiranom unapređivanju u skladu s filozofijom i pristupom potpunog upravljanja kvalitetom (*Total Quality Management, TQM*) [21].

Strategije zasnovane na vremenu su usmjerene na reduciranje vremena potrebnog da bi se izvršilo poslovne aktivnosti, a time zapravo smanjujemo troškove, povećavamo proizvodnost, proizvodi lakše dolaze do tržišta i imaju tendenciju kvalitetnog poboljšanja. Takav strateški pristup poznat je pod terminom “vitke” proizvodnje (*Lean Production*)¹⁶, gdje manji broj visoko osposobljenih radnika koristeći se fleksibilnom opremom i manjom količinom resursa ostvaruje veliki obujam visoko kvalitetnih dobara [20].

I jedan i drugi pristup širi se iz proizvodnje na sve procese i sve aktivnosti u čitavoj organizaciji, jer je samo u tom okviru moguće ostvariti postavljene ciljeve [22]. Štoviše, nemoguće je te pristupe odijeliti, jer da bi se definirao cilj proizvodnje u kompaniji bitno je sagledati stratešku viziju proizvodnje kako sve proizvodne resurse kompanije dovesti u vezu međusobno i prema okruženju, a to zahtjeva kontinuirane interakcije s kupcima i dobavljačima, te proizvodnju integriranu kroz odgovarajuće stapanje potpune kontrole kvalitete (*Total Quality Control, TQC*), odnosno potpunog upravljanja kvalitetom (*TQM*), kompjuterski integrirane proizvodnje (*CIM*) i proizvodnje upravo na vrijeme (*Just In Time, JIT*) [21]¹⁷.

Određivanje lokacije i karakteristika proizvodnih skladišta zadaća je strategije proizvodnje. Znanja i alati kao pomoć pri donošenju odluka i planova sastavni su dio programa na sveučilištima, i najčešće se predaju u kolegijima pod nazivom Planiranje objekata (eng. *Facilities Planning*), ili su sastavni dio kolegija Upravljanje proizvodnjom (eng. *Operations Management*). Planiranje objekata dijeli se na dva dijela, planiranje lokacije (eng. *Location Planning*) i oblikovanje objekata (eng. *Facilities Design*) [15]. Pod tim nazivima ta znanja i metode mogu se pronaći u literaturi i na Internetu. Strateško planiranje objekata potrebno je da podrži donošenje odluka menadžmenta u vezi izgradnje ili zakupa objekata, integracije novih i postojećih objekata, te poboljšanja postojećih operacija. Planiranje objekata uključuje slijedeće funkcije: prijam, ulazna kontrola, uskladištenje, izdavanje, transport do proizvodnih pogona i montaže, proizvodnja i montaža, kretanje u pogonima proizvodnje i montaže, skladištenje u procesu proizvodnje i montaže, kontrola materijala, pakiranje, komisioniranje, kretanje do i iz skladišta, kretanje do predajne zone, izdavanje, održavanje i kadrovske usluge. Iz navedenog je vidljivo da se zadaci Planiranja objekata u mnogome odnose na skladišta, kako u proizvodnom okruženju, tako i u distribucijskim mrežama.

3.2.3. Strategija distribucije

Kao i strategija proizvodnje, i strategija distribucije ima utjecaja na poslovnu strategiju i obrnuto. Strategija distribucije usredotočuje se na misiju distribucijskog skladišta u logističkom lancu, odnosno dijelu tog lanca, distribucijskoj mreži, za koju je potrebno odrediti broj i lokacije distribucijskih skladišta. Određivanje broja i lokacija distribucijskih skladišta u distribucijskoj mreži osigurava efektivnu dostavu proizvoda u logističkom lancu, osiguravajući balans ukupnih troškova i korištenja kapaciteta, te uslugu korisnicima, čime se može ostvariti konkurentna prednost poduzeća u tom lancu.

Kao pomoć pri donošenju skladišnih strateških odluka i planova također su razvijeni određeni modeli. Koriste se za primjenu u planiranju distribucijskih mreža, određivanju lokacija i analizama troškova skladišta. Primjena i opis tih modela mogu se naći u literaturi i nastavnim programima najčešće pod imenom Planiranje objekata (eng. *Facilities Planning*) te Modeli strateškog planiranja skladišta (eng. *Warehouse Strategic Planning Models*).

¹⁶ Za detaljniji opis “vitke” proizvodnje detaljnije u *Womack, Jones i Roos* [32]

¹⁷ Spomenuta ideja može se u literaturi naći i pod pojmom “vrhunska proizvodnja svjetskog glasa” (*World-class Manufacturing, WCM*) [21]

3.3. Taktičke i operativne skladišne odluke

Strateškim odlukama postavlja se okvir u kojem skladište mora raditi u srednjoročnom i kratkoročnom vremenskom razdoblju, shodno taktičkim i operativnim odlukama.

Taktičke skladišne odluke primarno se odnose na efikasno iskorištenje prostora, opreme i ljudi, i te odluke su srednjoročnog karaktera. Na primjer: Kakav je oblik skladišta? Koja sredstva za skladištenje koristimo? Koji način komisioniranja koristimo? Takve taktičke odluke često su vezane uz znatnu investiciju kapitala, što pak obvezuje da odabrani oblik zadovoljava mnogo godina u budućnosti. Pri oblikovanju skladišta sve interakcije s ostalim dijelovima logističkog lanca trebaju se uzeti u obzir, kao i zakonski propisi i zahtjevi za zaštitu okoliša.

Operativne skladišne odluke odnose se na odabir načina izvođenja aktivnosti u skladištu, i po svojoj prirodi su uske i kratkoročne. Na primjer: Na koji način podijeliti područje komisioniranja u zone? Koji tip komisioniranja se koristi? Koji algoritam prometovanja pri komisioniranju se koristi? Koji postupak skladištenja će se primijeniti?

Ispunjenje zadaće ostvarenja efikasnog skladišta ostvaruje se oblikovanjem skladišnog sustava (eng. *Warehouse Design*). Neki autori poistovjećuju oblikovanje skladišnog sustava s taktičkim planiranjem [10]. Nasuprot, *Tompkins et al.* navode slijedeće tri osnovne zadaće oblikovanja skladišta: oblikovanje prostornog rasporeda (eng. *layout*), oblikovanje skladišnih podsustava i oblikovanje sustava za rukovanje materijalom, i pri tome razmatraju niz operativnih odluka [15]. Normalno je da će odabir opreme u skladištu, sredstava za skladištenje te oblik samog skladišta utjecati na performanse skladišta na dulje vremensko razdoblje, te su tipično dio taktičkog odlučivanja. No pritom je nemoguće donijeti te odluke bez odabira načina na koji će odabrani sustav funkcionirati, a što se određuje operativnim postupcima¹⁸. Operativni postupci su pravila koja određuju kako se različite skladišne aktivnosti (operacije) izvršavaju. Izbor opreme i određivanje prostornog rasporeda na temelju taktičkih odluka, odnosno izbor operativnih postupaka na temelju operativnih odluka, međusobno su zavisni, i pri oblikovanju skladišta važno je imati spoznaju o implikacijama operativnih postupaka na performanse skladišta. I za autora ovog rada proces oblikovanja skladišta rezultat je i taktičkih i operativnih odluka, i zbog toga su navedene u zajedničkom poglavlju. Detaljniji prikaz taktičkog i operativnog skladišnog odlučivanja, pod zajedničkim nazivom oblikovanje skladišnog sustava, dato je u 4. poglavlju.

3.4. On-line odlučivanje

U modernim skladištima kontrola aktivnosti obavlja se pomoću kompjuterskog sustava. Takav kontrolni sustav odabran je na taktičkom i operativnom nivou odlučivanja, pri oblikovanju skladišta. Odluke donesene pomoću takvih kompjuterskih sustava nazivaju se on-line odluke, i donose se na temelju odabranih operativnih postupaka. Npr.: Kada komisioniramo određenu narudžbu?, Gdje skladištimo primljenu robu?, Kojim redoslijedom komisioniramo proizvode?

Kompjuterski sustavi za upravljanje skladištem danas su nezamjenjivi dio modernih skladišta za donošenje on-line odluka, i nazivaju se WMS (eng. *Warehouse Management System*). Danas se na tržištu može naći veliki broj različitih WMS paketa, a predviđa se i značajan

¹⁸ U starnoj literaturi se za te postupke često koristi naziv politike, a ponekad i strategije.

razvoj i unapređenje istih. U nastavku se prikazuju značaj i funkcije WMS paketa, uz prikaz stanja trenutno raspoloživih paketa na tržištu, te trendova.

3.4.1. WMS – sustavi za upravljanje skladištem

Kod većeg broja problema koji se pojavljuju u skladištu uočeno je pomanjkanje kontrole: kontrole zaliha, kontrole operacija i/ili kontrole upravljanja [51]. Da skladište ispuni ciljeve zacrtane od najvišeg menadžmenta (u svezi ostvarenja zadovoljstva korisnika i efikasnosti skladišnog procesa) moraju se koristiti alati i tehnologije koje omogućavaju kontrolu i upravljanje skladišnim aktivnostima.

Kontrolni sustav su sredstva, mehanizmi ili procedure pomoću kojih se upravlja tim aktivnostima. Manualni kontrolni sustav koristi fizičke tehnologije bazirane na papirnoj dokumentaciji, s ciljem da pokuša optimizirati skladišne aktivnosti. Zbog dinamike promjena zahtjeva koji se postavljaju pred skladište, potrebe za aktualnim informacijama vezanih na sve procese unutar skladišta, u okruženju današnje konkurencije korištenje manualnih kontrolnih sustava sve više postaje izuzetak, uvođenje kompjuteriziranog kontrolnog sustava za upravljanje skladišnim aktivnostima postaje pravilo.

WMS je kompjuterizirani sustav za upravljanje skladištem, koji je najčešće integracija podsustava:

- identifikacijski podsustav (najčešće s bar-code tehnologijom),
- komunikacijski podsustav (najčešće radio frekvencijska oprema),
- hardware i software.

Kao glavna komponenta WMS-a pojavljuje se software, koji služi za optimizaciju skladišnih i sa skladištem povezanih operacija. Stupanj sofisticiranosti WMS-a varira od jednostavnih sustava za kontrolu lokacija materijala u skladištu do sustava koji optimiziraju uslugu korisnicima, prostor, ljudski rad i korištenje opreme u skladištu [54]. Pri tome se ne smije poistovjetiti WMS s aplikacijom za upravljanje zalihama ili takvim modulom kao sastavnim dijelom nekog poslovnog sustava (ERP sustava, eng. *Enterprise Resource Planning*)¹⁹. O tim sustavima, te o upravljanju skladišnim poslovanjem, nešto više u točki 3.4.2.

WMS sustavi pojavili su se u SAD-u sredinom sedamdestih godina XX. stoljeća. U početku su takvi softwareski programi pratili tijek materijala, i radili na malim računalima. Danas u pravilu WMS upravljaju svim skladišnim aktivnostima, a povezani su i mijenjaju podatke s centralnim sustavom poduzeća za upravljanje poslovanjem. Danas se na tržištu može naći preko 400 proizvođača WMS softwera, koji rade na velikim računalima, kao što je IBM AS/400, pa do malih PC računala, koji rade na *Windows 95* operativnom sustavu.

Iako je uvođenje WMS-a u današnjim uvjetima neophodno za većinu skladišta (mnoga su ih već uvela, 1997. je ukupna vrijednost kupljenih WMS-ova iznosila je 377 milijuna dolara [51]), pred menadžere se postavlja problem izbora određenog WMS-a, nivo sofisticiranosti, te uspješnost implementacije. Naime, cijena WMS-a s troškovima instalacije i školovanja kadrova može premašiti u nekim slučajevima i milijun dolara, dok se neki WMS sustavi za manja PC računala na tržištu mogu naći i za 50.000 dolara [52]. Do ostvarenja postavljenih ciljeva, odnosno opravdanosti investicijskog troška uvođenja WMS-a, ne vodi jednostavno kupnja nekog od postojećih paketa na tržištu. WMS je projekt i mora se kupovati i ugraditi zajedno s ljudima, što znači uključivanje znanja i iskustva proizvođača softwera, do znanja i

¹⁹ Vodeći svjetski proizvođači poslovnih sustava, kao *SAP* i *BaaN*, danas u svoje pakete ugrađuju i pravi WMS kao modul, prikaz i u točki 3.4.2.

iskustva zaposlenih u skladištu. Drugo, instaliranje WMS-a je timski rad, koji uključuje ljude iz svih nivoa poduzeća i proizvođača poslovnog sustava. I treće, kao glavno polazište, potrebno je točno znati potrebe, što se realno može očekivati kao rezultat uvođenja, te istražiti što je sve na tržištu dostupno [53].

Kako bi WMS trebao služiti menadžerima u skladištu za upravljanje svim aktivnostima, trend razvoja je proširenje WMS-a sa određenim alatima. Dodjeljivanje zadaća radnicima, praćenje i davanje izvješća o produktivnosti, čime se zamjenjuje klasičan inženjerski posao studija rada, jedan je od takvih alata (eng. *labor management tools*). Također, praćenje stanja opreme i odluke o održavanju mora biti integrirano u nove WMS-ove. Brojne statistike o svim važnim događanjima u skladišnim procesima, osnova su za proučavanje i analize. Tako dobivene spoznaje izvor su potencijalnih poboljšanja skladišnih sustava i procesa.

Isto tako, kako se skladište ne može promatrati kao odvojena cjelina u nekom logističkom lancu, ono se mora povezati i s ostalim dijelovima tog lanca. Prva veza je dakako vanjski transport, te moderni WMS-ovi moraju integrirati i software za upravljanje vanjskim transportom u svezi rasporeda dolazaka i odlazaka vozila iz skladišta (eng. *transportation management software, TMS*) [55]. Prema mnogim predviđanjima, u integraciji logističkih lanaca WMS sustavi će postati centralni i nezamjenjiv dio, a sve većom integracijom informatičke tehnologije moći će se poboljšati predviđanje zahtjeva korisnika, praćenje potrošačkih osobina, te olakšavanje izbora kupcu [56]. Neki čak idu toliko daleko da predviđaju nestanak fizičkih skladišta, odnosno potrebe za zalihama, već će WMS-ovi u budućnosti upravljati svim tokovima materijala i informacija u logističkim lancima kao “virtualna” skladišta [56].

3.4.2. Sustavi za upravljanje poslovanjem

Razvoj i automatizacija proizvodnih sustava u posljednjim desetljećima u prvi su plan istaknuli posvemašnju potrebu za informatizacijom proizvodnih, ali i svih poslovnih procesa i sustava [66]. Skladišta, kao sastavni dio takovih sustava, ne mogu i ne smiju ostati izvan takovih procesa. Dinamičko upravljanje informacijama svih procesa unutar proizvodnog, odnosno poslovnog sustava zadaća je cjelovitog informacijskog sustava proizvodnje i poduzeća. To uključuje i upravljanje informacijama vezanih za skladišno poslovanje, što daje povod za osvrt na takove sustave i položaj skladišnog poslovanja i upravljanja skladišnim aktivnostima unutar takovih sustava.

Vodeća svjetska aplikativna rješenja za upravljanje poslovanjem u primjeni su i u Hrvatskoj (SAP, BaaN, Scala,...). Upravljanje nabavom, zalihama, planiranjem proizvodnje, kvalitetom, održavanjem, prodajom i distribucijom sastavni je dio takovih sustava. No isto tako i upravljanje ljudskim resursima, te financijama.

Kako je u današnjim uvjetima potreba integracije svih procesa koji su izravno vezani za tijek materijala, a kao sredstvo integracije spominje se logistika (vidi točku 2.2.2.), nije čudno da je jedan od najvećih proizvođača softwera za upravljanje poslovanjem, SAP, svoje aplikativno rješenje podijelio u 3 grupe: logistika, upravljanje ljudskim resursima i računovodstvo. Iz toga je vidljivo da logistika pokriva sve procese od nabave, preko proizvodnje, do prodaje i distribucije, ali i upravljanje kvalitetom i održavanje, s ciljem optimizacije cjelokupnog procesa, što je zapravo indirektno sadržano u najjednostavnijoj definiciji logistike, poznatoj pod nazivom *Laymanova* definicija “7 točnih zahtjeva” [6]: osigurati određeni resurs, u potrebnoj količini, odgovarajuće kvalitete, na određenom mjestu, u pravo vrijeme, za pravog korisnika, i uz minimalne troškove.

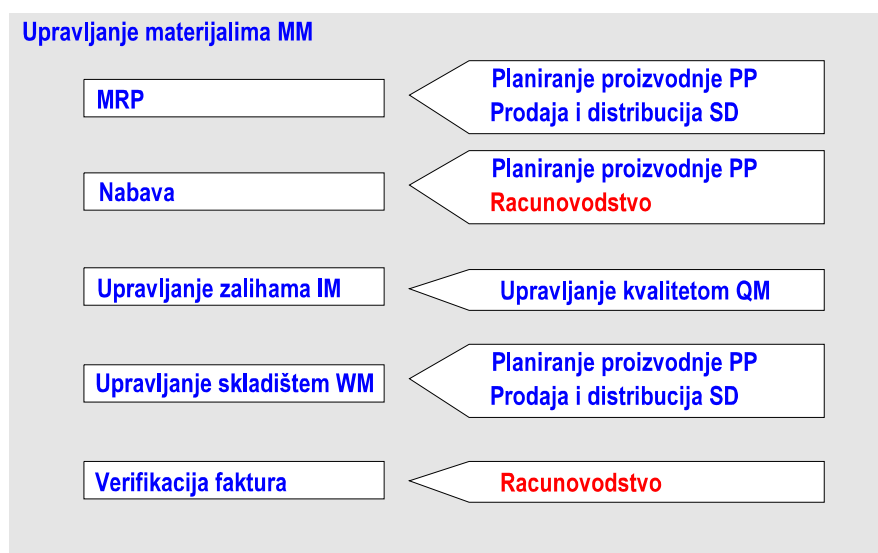
Da se prikaže pozicija skladišnog poslovanja, odnosno upravljanja skladišnim aktivnostima unutar sustava za upravljanje poslovanjem, iskorištena je koncepcija SAP R/3 sustava, no generalno se može reći da to vrijedi za sve takove slične sustave. SAP R/3 sustav za upravljanje poslovanjem sastoji se od modula, koji mogu raditi i kao zasebne aplikacije, ali i kao integrirane aplikacije koje međusobno razmjenjuju podatke preko servera – baze podataka.

Moduli koji pokrivaju spomenute logističke procese su:

SD – prodaja i distribucija
MM – upravljanje materijalima
PP – planiranje proizvodnje
QM – upravljanje kvalitetom
PM – održavanje pogona

Upravljanje skladišnim poslovanjem zadatak je, između ostalih, modula upravljanja materijalima MM. Glavni cilj tog modula je pokrivanje svih transakcija i funkcija vezanih za planiranje potreba materijala (MRP, *eng. Material Requirements Planning*), nabave, upravljanja zalihama, upravljanje skladištem i verifikacija faktura [67]. Sve funkcije su blisko integrirane međusobno i s drugim funkcijama sustava. Upravljanje skladišnim poslovanjem obavlja modul upravljanja zalihama IM kao modul unutar modula upravljanja materijalom MM. Ovdje se ponovno naglašava razlika između upravljanja skladišnim poslovanjem i upravljanja skladištem, WMS-a (vidi točku 3.4.1.). Upravljanje skladištem zadaća je modula WM, koji se također nalazi unutar modula MM.

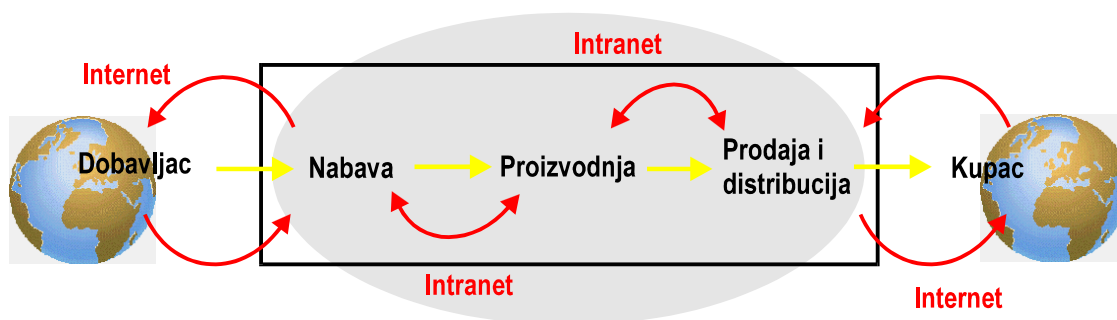
Kao potvrda stajališta da je skladište potrebno promatrati kao dio većeg logističkog lanca, odnosno u ovom slučaju proizvodno skladište unutar proizvodnog sustava, a isto tako i nužnosti integracije WMS sustava s proizvodnim (poslovnim) sustavom, može poslužiti slika grafičkog prikaza funkcija modula MM SAP R/3 sustava za upravljanje poslovanjem, te veze sa ostalim modulima.



Slika 3.1. MM: prikaz funkcija [67]²⁰

²⁰ Autor nije upotrijebio originalnu sliku, već je ona zbog potreba ovog rada pojednostavljena. Plava boja predstavlja grupu modula logistike, a crvena financija.

Kako je danas u dobu informatičke ere nezaobilazna riječ Internet, potreba je da se nešto kaže i o tome, u kontekstu poslovnih sustava. Inteligentna uporaba Internet tehnologije u poslovnim procesima pretvara se u nezaobilazan čimbenik uspjeha kod mnogih kupaca [67]. Internet omogućuje komunikaciju s potencijalnim kupcima i dobavljačima širom svijeta uz relativno niske troškove, dok za povezivanje različitih odjela i funkcija u jednom poduzeću služi lokalni Intranet sustav, čime su elementi logističkog lanca povezani i tijekom informacija. Na slici 3.2. shematski je prikazana uloga Interneta i Intraneta u povezivanju tih elemenata, gdje žuta boja prikazuje tijek materijala, a crvena tijekom informacija.



Slika 3.2. Internet i Intranet u poslovnim sustavima

4. OBLIKOVANJE SKLADIŠNIH SUSTAVA

U prethodnom poglavlju rečeno je da se sve taktičke i operativne odluke donose u procesu oblikovanju skladišta. Pri tome se misli na oblikovanje prostornog rasporeda (layouta) skladišta, oblikovanje podsustava, te oblikovanje sustava za rukovanje materijalom [15].

U oblikovanje skladišnih podsustava spada planiranje i oblikovanje građevinskog objekta, ventilacijskog, električnog, svjetlosnog, sanitarnog i sigurnosnog sustava. Planiranje i oblikovanje navedenih podsustava nije tipično odgovornost planera skladišta (najčešće industrijskog inženjera), ali će on biti u interakciji s arhitektima i inženjerima koji su za to odgovorni, i trebao bi biti upoznat s pristupima koji se u tom procesu koriste. Oblikovanje gore navedenih podsustava nije predmet ovog rada.

Oblikovanje skladišta s ciljem izrade tehnološkog projekta, u užem smislu kao zadatak planera skladišta, podrazumjeva oblikovanje prostornog rasporeda skladišta i oblikovanje i odabir sustava za rukovanje materijalom u skladištu. Također je bitno da su postupci oblikovanja prostornog rasporeda, te oblikovanja i odabira sustava za rukovanje materijalom međusobno zavisni i simultani.

Zbog čega je uopće potrebno toliko pažnje posvetiti oblikovanju skladišnog sustava?

Još je 1919. godine F.W. Taylor, u svojem radu "Principi znanstvenog menadžmenta" ukazao na potrebu razvijanja znanstvenih pristupa svim aspektima rada. Zašto, dovoljno govori jedna njegova izjava:

"Rezultatima dobivenim zakonima znanstvenog menadžmenta mogu se dobro naplatiti vrijeme i eksperimenti potrebni za razvoj tih zakona."

No u to vrijeme nije se mogla riješiti kompleksnost tih problema. Brzi razvoj teorija i tehnika počeo je poslije Drugog svjetskog rata u području Operativno istraživanje/Znanost o menadžmentu (*Operations Research/Management Science, OR/MS*). No istraživanje i primjena usredotočili su se na posebna područja kao što su kontrola zaliha, planiranje proizvodnje i dr., dok je širi pogled na cjelokupni sustav u to vrijeme izostao [16].

Skladištenje je važan aspekt ekonomske aktivnosti. U počecima industrijskog razvoja, zbog male cijene ljudskog rada, uglavnom se koristio ljudski resurs s neznatnim razmatranjem efikasnosti iskorištenja prostora ili rukovanja materijalom. No poslije Drugog svjetskog rata i u području skladištenja dolazi do promjena. Brzi razvoj tehnologije vezan na opremu za rukovanje materijalom, te porast cijene ljudskog rada, natjerao je menadžment na donošenje odgovarajućih odluka vezanih na oblikovanje skladišta i operacije unutar skladišta. Od tada do danas razvijeno je mnogo rješenja za probleme oblikovanja i funkcioniranja skladišta.

Zadaća skladištenja je ili maksimizirati iskoristivost resursa uz zadovoljenje zahtjeva korisnika ili maksimizirati uslugu korisnicima uz korištenje određenih resursa. Skladišni resursi su prostor, oprema i osoblje, ali indirektno i vrijeme, kapital, energija, informacije. Zahtjevi korisnika su da se proizvodi dostave brzo i u dobrom stanju. Prema tome, u oblikovanju skladišnih sustava poželjno je maksimizirati [15]:

- iskoristivost prostora,

- iskoristivost opreme,
- iskoristivost ljudskog rada,
- pristup svim materijalima,
- zaštitu svih materijala.

Normalno da je konačno rješenje zapravo kompromis između navedenih zadataka, koji daje ukupno optimalno rješenje s obzirom na troškove i zadovoljenje kupaca. Kako se pri oblikovanju koriste i empirička saznanja i analitički pristupi, nužno je poznavanje najboljih u praksi operativnih postupaka, ali i matematičkih i kompjuterskih modela za rješavanje mnogih problema pri oblikovanju skladišta. Pri tome je potrebno uvijek znati da su ti problemi dio većeg logističkog lanca, te se za svako rješenje ili pristup problemu mora razmotriti utjecaj na ukupni problem. Mnogi modeli odnose se samo na određeni dio problema. Opći model pak morao bi uključivati sve elemente skladišnog sustava, te je razvoj općeg analitičkog modela praktički nemoguć zbog postojanja ogromnog broja alterantiva. Za rješenja pri odabiru konačnog dizajna skladišnog sustava može dobro poslužiti simulacija. Većina praktičnih problema može se, i trebala bi se, rješavati kombinacijom analitičkih modela i simulacijom, gdje bi se prvo analitičkim modelima, koji ne uključuju sve aspekte oblikovanja, smanjio broj gotovo beskonačnog broja varijabli simulacijskog modela, a tek onda bi se koristila simulacija za određivanje dinamičkih aspekata takvog pojednostavljenog modela.

U nastavku rada prikazani su metodologija oblikovanja skladišta, principi koji se koriste u oblikovanje skladišta, operativni postupci, te matematički modeli i simulacije koji se koriste kao pomoć pri oblikovanju skladišta.

4.1. Metodologija oblikovanja skladišta

Općenito, narav djelatnosti oblikovanja (projektiranja) očituje se u izrazitoj primjeni deduktivnog pristupa – od općega k pojedinačnom, od generalnih rješenja prema detaljima, od idealiziranih rješenja do stvarnih rješenja [42]. Rezultat oblikovanja jest projekt, koji s obzirom na složenost i razinu razrade rješenja može biti idejni ili izvedbeni. Cilj projekta skladišnog sustava jest oblikovanje takvog skladišnog sustava koji će zadovoljiti sve tehničke, tehnološke, informatičke, organizacijske i ekološke zahtjeve uz minimalne troškove [12]. Samim procesom oblikovanja žele se ostvariti definirani ciljevi projekta, za što je potrebno posjedovanje odgovarajuće metodologije, koja će svojim sadržajem i sustavnom primjenom jamčiti kakvoću projektnih rješenja [41]. Pri projektiranju svakog sustava koristi se određena metodologija, pa tako i za projektiranje skladišnog sustava. Kako se proces oblikovanja skladišta može dobro shvatiti ako se razmotri u kontekstu životnog ciklusa skladišta (iako se skladište oblikuje jednom, često se preoblikuje da se prilagodi promjenjivim ciljevima), pri oblikovanju skladišta može se primijeniti tradicionalni proces inženjerskog oblikovanja, koji se sastoji od slijedećih šest koraka [15]:

- identificiraj i definiraj problem,
- analiziraj problem,
- napravi varijante (alternative),
- usporedi varijante prema odabranim kriterijima,
- izaberi najbolju varijantu,
- implementiraj odabranu varijantu.

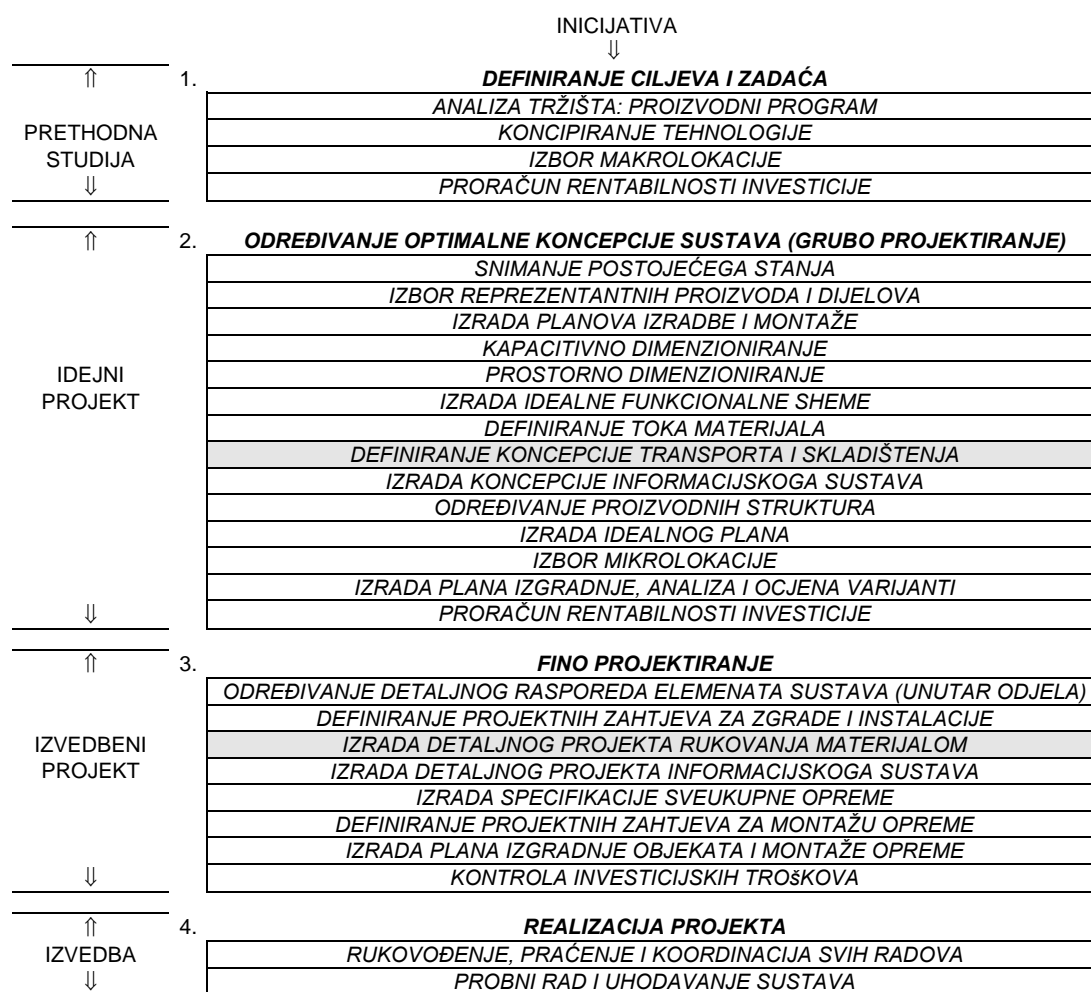
Primjena jednog takvog općenitog postupka u oblikovanju skladišnog sustava rezultira slijedećim postupkom:

1. **Definirati (ili redefinirati) zadaću skladišta.** Bilo da se radi o oblikovanju novog ili poboljšanju postojećeg skladišta, potrebno je zadaću skladišta odrediti kvantitativno, gdje god je to moguće.
2. **Odrediti sve aktivnosti koje treba izvršiti da se ispune zadaci skladišta.** One se određuju u smislu operacija, opreme, osoblja koje uključuju.
3. **Odrediti međusobne veze između svih aktivnosti.** Potrebno je odrediti ako i kako aktivnosti međusobno djeluju ili podržavaju jedna drugu, definirajući i kvantitativne i kvalitativne odnose.
4. **Odrediti zahtjeve na prostor za sve aktivnosti.** Pri tom se moraju razmotriti sva oprema i osoblje koji su potrebni za te aktivnosti.
5. **Napraviti varijante skladišta.** Varijante skladišta uključuju varijante prostornog rasporeda zona u skladištu, zgrade i sustava za rukovanje materijalom.
6. **Usporediti varijante.** Na bazi odabranih kriterija rangiraju se varijante. Za svaki kriterij potrebno je odrediti kakav je isti utjecaja na skladište, odnosno funkciju skladištenja.
7. **Izabrati najbolju varijantu.** Problem je odrediti koja varijanta je najprihvatljivija. Najčešće troškovi nisu jedino važni u razmatranju. Informacije iz koraka 6., vezane za određivanje važnosti kriterija, trebaju se iskoristiti za konačni odabir.
8. **Implementirati odabranu varijantu.** Jednom kada se odabere konačna varijanta, potrebno je napraviti plan njenog oživljavanja. Tu se misli na dokumentiranje varijanti i dokumentiranje odabira prema odabranim kriterijima, da se vizualizira problem višem menadžmentu. U tu fazu spada i podrška pri izgradnji novog skladišta ili preoblikovanju postojećeg, uvođenje u rad i uklanjanje eventualnih grešaka.
9. **Održavati, prilagođavati i redefinirati ciljeva skladišta.** Kako se pojavljuju novi zahtjevi i mogućnosti, skladište se mora modificirati. To se događa npr. pojavom nove opreme na tržištu. U slučaju potencijalnih modifikacija, ili ekspanzije, potrebno je odrediti kvantitativno nove zahtjeve, što dovodi do zaključka da se proces oblikovanja skladišta ciklički ponavlja, te se redefiniranjem ciljeva skladišta ponovno ciklički vraćamo na 1. korak procesa oblikovanja.

Kada su proizvodna skladišta sastavni dio nekog proizvodnog sustava, oblikovanje (projektiranje) skladišnog sustava jest dio i projektiranja proizvodnog sustava. Slika 4.1. prikazuje pojednostavljeni metodološki slijed (re)projektiranja proizvodnih sustava, gdje je vidljivo u kojoj fazi idejnog i izvedbenog projekta trebaju tehnička rješenja skladištenja, odnosno rukovanja materijalom. Na slici nije eksplicite naznačeno mjesto objašnjenja skladištenja u prethodnoj studiji i tijekom izvedbe, njegovo mjesto u zadnjim fazama oba projekta, niti njegovo mjesto u drugim fazama projektiranja.

Ostvarenje proizvodnih sustava predstavlja dovođenje u sklad mnogih kompleksno povezanih činitelja. Pri tome treba težiti k realizaciji proizvodnog sustava kao optimalne cjeline. Postignuće parcijalnih optimuma najčešće neće rezultirati optimumom proizvodnog sustava kao cjeline [18]. Stoga treba i projekt skladišta promatrati kao dio jednog većeg projekta, proizvodnog sustava, odnosno još većeg cjelokupnog logističkog lanca.

Spomenuto je da metodologija oblikovanja skladišta pretpostavlja stvaranje više varijanti i ocjenjivanja varijanti po odabranim kriterijima radi izbora najbolje varijante. Iako postoje gotovi modeli i metode, te utvrđeni principi, kvaliteta rješenja ovisi i o kreativnosti planera - projektanta.



Slika 4.1. Metodološki slijed projektiranja proizvodnih sustava [18]

Jedna od procedura oblikovanja rješenja može biti slijedeća [17]:

- Određivanje lokacije fiksnih dijelova skladišta. Noseći stupovi u skladištu, stepenice, liftovi, sustav i protupožarne zaštite, grijanja i hlađenja itd. imaju određene pozicije i konfiguracije koje se ne mogu mijenjati i moraju se prvi locirati.
- Određivanje lokacije prijamne i predajne zone. Najčešće će konfiguracija mjesta skladišta diktirati lokaciju tih zona. No ukoliko to nije slučaj, određenje tih lokacija postaje izuzetno važno, poglaviti za distribucijska skladišta, gdje su to zone visokog intenziteta aktivnosti, čije određenje treba maksimizirati produktivnost, poboljšati tijek materijala i dobro iskoristiti mjesto objekta skladišta. Također je pitanje centralizacije ili decentralizacije prijamne i predajne zone na ovom mjestu od velike važnosti.
- Lociranje zona skladištenja i opreme, uključujući potrebne prolaze. Odabir sredstava za skladištenje i transportnih sredstava utječe na oblik i veličinu skladišta.
- Dodjeljivanje materijala koji treba skladištiti lokacijama u zoni skladištenja. Ovaj korak je mentalni proces simulacije aktivnosti u skladištu koji treba osigurati potvrdu da je varijanta napravljena za sve materijale.

Potrebno je napraviti više varijanti, s različitim rasporedima, oblicima zgrade i izabrane opreme.

Nakon izrade varijanti potrebno je ocijeniti varijante prema određenim kriterijima. Izbor kriterija slijedi iz dva osnovna cilja oblikovanja skladišta – minimizacija troškova i maksimizacija usluge korisnicima. Kriteriji su principi skladištenja opisani u prethodnom poglavlju, te ekonomski parametri vezani uz troškove skladišta. Pri ocjenjivanju varijanti potrebno je znati da se skladište nalazi u dinamičnom okružju, te da se zahtjevi mogu mijenjati s vremenom. Dakle prije ocjenjivanja varijanti nužno je napraviti predviđanje zahtjeva u budućnosti.

4.2. Prijam i izdavanje

Kao što je već rečeno u poglavlju 2., aktivnosti koje se izvršavaju u skladištu mogu se svrstati u četiri glavne aktivnosti, prijam, skladištenje, komisioniranje i izdavanje. Aktivnosti prijama i izdavanja materijala mogu se obavljati zasebno u prijamnoj odnosno predajnoj zoni, no mogu se obavljati i u zajedničkoj, prijamno-predajnoj zoni. Zbog toga će se te dvije glavne aktivnosti u radu opisati u jednom poglavlju.

Funkcije prijama i izdavanja definiraju se da počinju dolaskom vozila vanjskog transporta do skladišta, odnosno završavaju odlaskom vozila vanjskog transporta od skladišta. Dakle osim samog prijama materijala, kontrole istog, prepakiranja te izdavanja robe zoni skladištenja ili drugim organizacijskim funkcijama, potrebno je i sve aktivnosti vozila u okružju skladišta uključiti u planiranje prijamne zone. Isto vrijedi i za planiranje predajne zone. Takvo razmatranje proširuje problem planiranja na područje i izvan objekta samog skladišta.

Kako su skladišta samo dio jednog većeg logističkog lanca, i oblikovanje skladišnog sustava, pa tako i prijamne i predajne zone, mora biti razmotreno u kontekstu tog većeg lanca. Ta razmatranja *Tompkins et al.* nazivaju predprijamna i predpredajna razmatranja²¹ [15]. Zahtjevi za ljudima, opremom i prostorom u prijamnoj i predajnoj zoni ovise o efikasnosti primjene rezultata takovih razmatranja. Na primjer, u suradnji s dobavljačima mogu se smanjiti maksimalne količine robe koje pristignu najednom. Drugi razlog zbog kojeg treba razmotriti predprijamne aktivnosti je mogućnost utjecaja na konfiguraciju materijala, da se izbjegne nekompatibilnost sustava rukovanja materijala dobavljača i sustava u prijemnoj zoni. Treći razlog za pokušaj utjecaja na predprijamne aktivnosti je da se omogući dobra veza između informacijskih sustava dobavljača i prijamne zone. Gdje su u uporabi sustavi automatske identifikacije, neka poduzeća dostavljaju svojim dobavljačima oznake za identifikaciju da ih postave na pošiljke kako bi olakšali prijamne aktivnosti.

Isto kao što prijamna zona skladišta može utjecati na dobavljače, tako i korisnici mogu utjecati na predajnu zonu. Prema tome i postpredajne aktivnosti moraju biti razmotrene. Ako se roba dostavlja korisnicima u povratnim kontejnerima, mora biti razvijen sustav koji će voditi brigu o tome gdje se nalaze kontejneri da se osigura njihovo vraćanje. Dodatno, ako i nisu povratni, pojaviti će se prirodno trošenje za koje se mora planirati zamjena. Roba se može vratiti zbog toga što ne ispunjava zahtjeve za kvalitetom, zbog grešaka u tipu i količini, ili je korisnik jednostavno odlučio da ne primi materijal. Bez obzira koji je razlog, vraćenom robom mora se adekvatno rukovati, što zahtjeva postojanje odgovarajućeg sustava rukovanja materijalom. Ako se za dostavu koriste vlastita vozila vanjskog transporta, treba razmotriti iskorištenje kapaciteta vozila pri povratnoj vožnji. Raspored izdavanja može imati značajan utjecaj na zahtjeve za resursima u predajnoj zoni. Prema tome, potrebna je dobra koordinacija

²¹ Predprijamna i predpredajna razmatranja su pripremne aktivnosti za prijam i izdavanje.

između aktivnosti izdavanja i dostave. Ako se aktivnosti izdavanja planiraju, onda raspored izdavanja mora biti točan i pouzdan. Dodatno, uz potrebe bolje koordinacije aktivnosti dobavljača i aktivnosti prijama, te aktivnosti izdavanja i aktivnosti korisnika, jednako je važna koordinacija aktivnosti prijama i proizvodnje, proizvodnje i izdavanja, te prijama i izdavanja. Prirodni slijed tijeka materijala je dobavljač, prijamna zona, proizvodno skladište, proizvodnja, skladište za distribuciju, predajna zona, korisnik. Međutim, u nekim slučajevima materijal može ići izravno iz prijamne zone u proizvodnju i iz proizvodnje do predajne zone. Zbog toga te mogućnosti isto moraju biti uključene u oblikovanje sustava.

Zašto treba koordinirati aktivnosti prijama i izdavanja? Zajednički prostor, oprema i ljudi mogu se upotrijebiti za te aktivnosti. Dodatno, kada se koriste palete za lakše rukovanje materijalom, prazne se moraju skupljati i vraćati na mjesto punjenja bilo u proizvodnju, bilo u prijamnu zonu. Ključna odluka u oblikovanju i prijamne i predajne funkcije je da li centralizirati ili ne te dvije funkcije. Lokacija prijamne i predajne zone ovisi o pristupu transportnim putevima. Odluka o centralizaciji prijamne i predajne zone ovisi o mnogim faktorima, uključujući prirodu aktivnosti koje se obavljaju. Prilika da se centralizira prijam i izdavanje treba biti pažljivo izanalizirana. Prednosti i nedostaci centralizacije trebaju biti pobrojani i razmotreni prije donošenja odluke.

4.2.1. Principi prijama

Principi prijama služe kao vodilje stvaranju željenog tijeka materijala u aktivnostima prijama. Namjera im je da pojednostavne tijek materijala kroz proces prijama i da osiguraju minimalni potrebni rad. Među važnijim principima prijama su slijedeći:

1. *Ne primiti.* Za neke materijale, najbolji prijam je odbijanje prijama. Često je bolje neke materijale dostaviti korisnicima izravno od partnera dobavljača, a ne ih primiti i izdavati iz svog skladišta.
2. *Predprijam.* Većina vremena i prostora potrošenih u prijemnoj zoni je zbog čekanja materijala na dodjelu lokacije, identifikaciju i sl. Te informacije mogu se dobiti ranije od dobavljača u vrijeme njegovog izdavanja preko EDI veze ili faxesa.
3. *Crossdock.* Kako je cilj prijemnih aktivnosti u cilju pripreme materijala za izdavanje prema narudžbama, najbrži i i najproduktivniji proces prijama je crossdocking.
4. *Odlaganje izravno u primarne ili rezervne lokacije.* Kada materijal ne može biti crossdockiran, rukovanje materijalom može biti minimizirano preskakanjem odlaganja u prijamnoj zoni i odlaganjem materijala izravno u lokacije skladišne zone. Na takav način se eliminira odlaganje u prijamnoj zoni i provjera. Dakle, eliminira se i potreba za prostorom, ljudima i opremom za te aktivnosti. To se postiže vozilima koja imaju sposobnost i istovara s vozila vanjskog transporta i odlaganja u skladišnoj zoni. Najnaprednije logističke operacije karakterizirane su automatiziranim, izravnim odlaganjem u zonu uskladištenja.
5. *Odlaganje radi čekanja u zoni uskladištenja.* Ukoliko materijal treba odložiti, podna površina u prijamnoj zoni potrebna za to može se minimizirati korištenjem regala za odlaganje radi čekanja na odlaganje u zoni skladištenja. Često su lokacije u samoj zoni uskladištenja iskorištene za to, te "blokiranje" za izuzimanje sve dok jedinica skladištenja nije službeno primljena.
6. *Izvršiti sve potrebne korake za efikasno rastavljanje tereta i kretanje u prijamnoj zoni.* Najviše vremena koje je na raspolaganju za pripremu materijala za izdavanje je u prijamnoj zoni. Kada se jednom dobije zahtjev za izdavanje robe koja je primljena, ostaje

malo vremena za pripremu samog izdavanja. Prema tome sve što je moguće obaviti prije treba obaviti. Te aktivnosti uključuju:

- a) *Prepakiravanje u manje jedinične terete.*
 - b) *Primjena neophodnog označavanja.*
 - c) *Planiranje prostora i težine za skladištenje i transport.*
7. *Sortirati pristigle materijale za efikasno odlaganje.*
 8. *Kombinirati odlaganje i izuzimanje kada je moguće.*
 9. *Napraviti balans korištenja resursa pri prijemu rasporedom dolazaka vozila vanjskog transporta.*
 10. *Minimizirati ili eliminirati hodanje pomoću ostvarenja tijeka materijala do radnih stanica.*

4.2.2. Principi izdavanja

Mnogi principi prijama također su primjenjivi na obrnuti način i u izdavanju. Dodatno se pri izdavanju pojavljuju principi osiguranja pošiljki, automatiziranja punjenja vozila vanjskog transporta i upravljanje vozilima vanjskog transporta unutar predajne zone²². Kao značajniji mogu se navesti slijedeći principi izdavanja:

1. *Izabrati sredstva za oblikovanje jediničnih tereta i materijale pakiranja koji pridonose smanjenju troškova i uštedi na prostoru* Odabir sredstava za oblikovanje jediničnih tereta i materijala pakiranja treba se temeljiti na kriterijima nosivosti, trajnosti, cijeni i prostoru koje zauzimaju.
2. *Minimizirati oštećenja proizvoda.* Korištenjem određenih materijala za pakiranje mogu se zaštititi pošiljke od oštećenja pri rukovanju kod samog punjenja vozila, te pri transportu. Odabir materijala za pakiranje je bitan s obzirom na zaštitu okoliša.
3. *Eliminirati odlaganje u predajnoj zoni pomoću izravnog punjenja vozila vanjskog transporta.* Kao i kod prijama, odlaganje robe u predajnoj zoni i dodatno rukovanje mogu se izbjeći korištenjem sredstava za rukovanje koja će obaviti i izuzimanje robe i punjenje vozila vanjskog transporta.
4. *Koristiti regale za odlaganje robe koja čeka na izdavanje.* Ako se materijal koji treba izdati ne utovaruje izravno na vozila, potrebna površina za odlaganje u predajnoj zoni može se minimizirati korištenjem regala za odlaganje.
5. *Omogućiti kretanje vozila vanjskog transporta s minimumom potrebne dokumentacije i utroška vremena.* U distribucijskim centrima koji imaju vrlo veliki protok koriste se određeni sustavi koji ubrzavaju prolasku vozila vanjskog transporta kroz predajnu zonu.

4.2.3. Planiranje prostora prijamne i predajne zone

Da bi se moglo odrediti potreban prostor prijamne i predajne zone, unutar i izvan objekta, potrebno je prvo napraviti analizu prijama i izdavanja. Jedna takva analiza treba dati informacije koliko, kako i kada se roba prima, odnosno izdaje. Za postojeće operacije prijama i izdavanja te informacije mogu se dobiti iz prošlih izvješća o prijemu i izdavanju. Za slučaj novih operacija potrebno je napraviti analizu tržišta (ili drugih organizacijskih jedinica u poduzeću) za sve proizvode (materijale) da se odrede količine narudžbi, jedinični tereti i frekvencije prijama, odnosno izdavanja. Za jednu takvu analizu može se koristiti tablica za analizu prijama i izdavanja, s podacima prema strukturnoj tablici, slika 4.2. Prvih sedam kolona te tablice daju informacije o proizvodima (materijalu) koje treba primiti i izdati. Osma

²² Pod pojmovima prijamna i predajna zona ne misli se samo na dio skladišta unutar objekta, već i na površine izvan objekta potrebne za promet vozila vanjskog transporta pri istovaru i utovaru robe.

i deveta kolona određuje tipove vozila koja će biti korištena za prijam i izdavanje. Uz tip vozila navode se podaci o dimenzijama vozila. Deseta i jedanaesta kolona tablice odnose se na informacije o opremi za rukovanje materijalom pri istovaru, odnosno utovaru vozila vanjskog transporta.

Nakon provedene spomenute analize određuje se prostor prijamne i predajne zone izvan objekta. Prvi korak je određivanje broja i tipova ulaza odnosno izlaza. Postupak određivanja broja ulaza, odnosno izlaza temelji se na podacima o dolascima odnosno odlascima, te vremenima pražnjenja, odnosno punjenja vozila vanjskog transporta. Za to se mogu koristiti analitičke metode teorije redova čekanja ili simulacija. Nakon određenja broja ulaza, odnosno izlaza, potrebno je odrediti prostor izvan objekata na takav način da se odredi potreban prostor za pristup vozila vanjskog transporta svakom ulazu odnosno izlazu, te prostor za kretanje tih vozila u ili van zemljišta razmatranog skladišta.

Pri određivanju broja i tipova ulaza, odnosno izlaza, potrebno je razmotriti i lokaciju tih ulaza, odnosno izlaza. Prvo treba razmotriti centralizaciju ili decentalizaciju prijamne i predajne zone, ovisno o zahtjevima za osoblje u obje funkcije, tijeku materijala, kapacitetu, utrošku energije i rasporedu prijama, odnosno izdavanja. Također treba uzeti u obzir i eventualno širenje skladišta, pri čemu je iskustveno pravilo da se ulazi, odnosno izlazi pri širenju ne mijenjaju [15].

Određivanje potrebnog prostora prijamne, odnosno predajne zone uključuje slijedeće:

1. Prostor za kretanje opreme za rukovanje materijalom i ljudi uključenih u proces prijama, odnosno izdavanja
2. Prostor za odlaganje
3. Prostor za depaletiziranje i paletiziranje
4. Prostor za odlaganje otpada
5. Prostor za protupožarnu opremu, te opremu za grijanje odnosno hlađenje
6. Prostor za vozače
7. Prostor za urede i pomoćne prostorije zaposlenika skladišta
8. Prostor za održavanje opreme za rukovanje materijalom

Normalno da ovisno o izvedbi skladišta, te da li je skladište proizvodno ili distribucijsko, neke navedene komponente vrijede opcionalno. Prostor za odlaganje čine prostori u prijamnoj zoni gdje se odlaže materijal pri istovaru s vozila vanjskog transporta ukoliko se izravno ne transportira dalje (bilo na skladištenje bilo na izdavanje cross-dockingom, odnosno prostori u predajnoj zoni gdje se odlaže materijal nakon izuzimanja ukoliko se izravno ne utovaruje na vozila vanjskog transporta. Ako je procedura takva da se nakon prijama roba izravno transportira u zonu uskladištenja ili korisnicima, odnosno nakon izuzimanja izravno utovaruje na vozila vanjskog transporta, prostori za odlaganja nisu potrebni. U slučaju proizvodnih skladišta nekad nema potrebe za planiranjem prostora za vozače, već je ova komponenta karakteristična za distribucijska skladišta.

Potreban prostor za odlaganje može se odrediti razmatranjem broja vozila vanjskog transporta za koje treba osigurati prostor za robu koja se istovaruje ili utovaruje. Obično je prostor za jedno puno vozilo vanjskog transporta po ulazu/izlazu dovoljno. No u slučaju veće frekvencije istovara i utovara, treba razmotriti slučaj prostora za dva ili tri vozila. Troškovi prostora za odlaganje trebaju se komparirati s troškovima utovara i istovara da se odredi odgovarajući iznos prostora za odlaganje. Ako se koriste simulacijski modeli za određivanje broja ulaza/izlaza, mogu se iskoristiti i za određenje troškova.

4.3. Skladištenje

Planiranje zone skladištenja slijedi izravno iz ciljeva oblikovanja navedenih u uvodnom dijelu ovog poglavlja. Maksimalno iskorištenje prostora proizlazi iz potrebe smanjenja troškova vezanih za izgradnju objekta i troškove kretanja materijala unutar skladišta. Maksimalna iskoristivost opreme zahtijeva pravilan izbor opreme. Maksimalna iskoristivost ljudskog rada uključuje osiguranje potrebnih kadrova i ureda. Maksimalna dostupnost svih materijala ostvaruje se odabirom prostornog rasporeda, dok peti cilj, maksimalna zaštita proizvoda, slijedi izravno iz skladištenja robe u adekvatnom prostoru, s odgovarajućom opremom, pomoću dobro obučenih ljudi, u odgovarajuće odabranom rasporedu.

4.3.1. Planiranje prostora zone skladištenja

Pri planiranju odnosno oblikovanju zone skladištenja, prvi korak je određivanje potrebnog prostora za skladištenje. Prvi korak je planiranje broja jedinica skladištenja. Za to određenje može se koristiti strukturna tablica analize skladištenja na slici 4.2. Prvih pet kolona je identično prvim pet kolonama tablice za analizu prijama i izdavanja i ti podaci mogu se prepisati ukoliko nema promjena nakon prijama ili izdavanja. Ti podaci također mogu se dobiti pregledom robe na skladištu. Šesta i sedma kolona te tablice, maksimalne i prosječne količine jedinica skladištenja (u daljnjem tekstu JS), u vezi su s metodom kontrole zaliha i njihovo određivanje prikazati će se u slijedećoj točki 4.3.1.1.

Planirani broj JS u skladištu (prostor za JS) može se odrediti razmatranjem rasporeda prijama i metode dodjeljivanja materijala lokacijama, odnosno odabranog postupka skladištenja. Ako se svi materijali primaju istovremeno, planirana količina JS koja treba biti uskladištena jednaka je maksimalnoj količini JS. Ako materijali dolaze u vremenskom periodu, tada će metoda dodjeljivanja materijala lokacijama odrediti planiranu količinu JS u skladištu, a time i prostor za JS. Metode dodjeljivanja materijala lokacijama, nazvane postupci skladištenja i njihov utjecaj na planirani prostor zone skladištenja, biti će prikazani u točki 4.3.1.2.

Nakon određenja broja JS koje treba uskladištiti potrebno je, za različite varijante odabira sredstava za skladištenje i transportnih sredstava u skladištu, odrediti prostor za puteve i prolaze. To određenje može se izračunavati paralelno s oblikovanjem prostornog rasporeda, te se za svaku varijantu taj prostor izračunava ponaosob. Nakon što su određeni prostori za JS, te za prolaze i puteve, izračunava se standard prostora (vidi tablicu na slici 4.3, kolona 10). To je prostor potreban za skladištenje jedne JS koji uključuje dodani prostor za prolaze i gubitke. Množenjem tog iznosa s planiranim brojem JS dobije se potrební prostor za skladištenje tog tipa proizvoda. Zbrajanjem prostora svih tipova proizvoda dobije se potreban ukupni prostor zone skladištenja. Površina (slika 4.3., kolona 11) lako se izračuna iz tog prostora, ovisno o zahtjevu visine stropa (slika 4.3., kolona 12).

Osim opisanog postupka postoje i drugi načini.

[illegible]

Slika 4.2. Strukturna tablica za analizu prijama i izdavanja

[illegible]

Slika 4.3. Strukturna tablica za analizu skladištenja

4.3.1.1. Upravljanje zalihama i količina zaliha na skladištu

Zalihe su vrlo važne mnogim poduzećima jer im pomažu da brzo odgovore na zahtjeve kupaca, što je važan element konkurentske strategije. Zalihe sirovina ili djelomično proizvedenih proizvoda mogu pomoći poduzeću da brže završe proizvodni ciklus. Zalihe sirovina također mogu štititi poduzeće od posljedica štrajkova, vremenskih i drugih prirodnih nepogoda. Zalihe gotove robe omogućavaju brži odgovor na zahtjeve kupaca, nego je vrijeme potrebno za nabavku potrebnog ulaznog materijala i proizvodnju. Također, zalihe gotove robe štite poduzeće od posljedica grešaka predviđanja zahtjeva kupaca. Poduzeća također akumuliraju zalihe kao rezultat kupovanja većih količina s ciljem smanjenja troškova naručivanja po jedinici proizvoda, odnosno kao rezultat proizvodnje većih količina na proizvodnoj liniji da se smanje jednični troškovi podešavanja proizvodne opreme.

Postojanje zaliha vezano je za znatne troškove čuvanja zaliha. U nekoliko zadnjih godina vidljiv je trend pokušaja smanjivanja zaliha. Poduzeća su pronašla načine na koje mogu smanjiti zalihe, tako što su istražila i primijenila alternative koje smanjuju potrebu za držanjem velikih količina zaliha. Ako se smanji vrijeme narudžbe ili vrijeme ciklusa proizvodnje, smanjuje se i potrebna količina zaliha, uz zadržavanje efektivnog zadovoljenja potreba kupaca. Ugovori s pouzdanijim dobavljačima također eliminiraju jednu od potreba držanja velikih količina zaliha. Ako se ulože naponi da se smanje troškovi naručivanja i podešavanja opreme, smanjit će se također i troškovi držanja zaliha zbog smanjenja potrebe za većom količinom tih zaliha.

Dakle, zalihe nisu niti potpuno dobre niti potpuno loše. Mnogi problemi koji nastanu nakon nestanka zaliha očiti su. Ali mnogi problemi zbog prevelike količine zaliha nisu toliko očiti i često sakrivaju druge probleme koje bi poduzeća trebala pronaći i riješiti. Zbog toga treba određenim metodama pokušati odrediti sve relevantne troškove držanja zaliha, te pronaći količinu zaliha za koje su troškovi optimalni. Za rješavanje takvih problema razvijene su raznovrsne metode u okviru Operacijskih istraživanja. U nastavku je sažeto (za potrebe ovog rada) opisano nekoliko osnovnih teorijskih modela, koji prikazuju vezu s projektiranjem skladišta i skladištenjem.

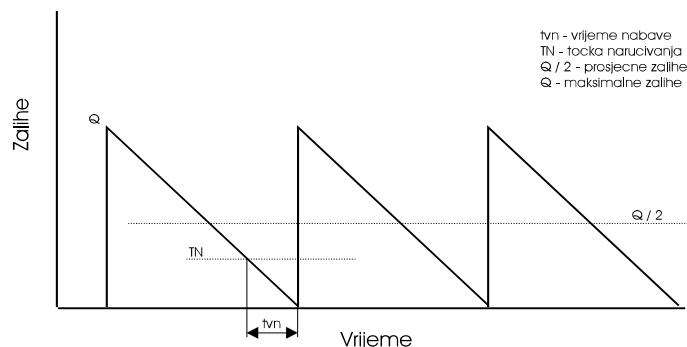
Kako neki troškovi porastom količine zaliha rastu, a neki padaju, odluka o najboljoj količini narudžbe biti će kompromis između konfliktnih troškova. Kao pomoć u donošenju te odluke služi model ekonomske količine nabave EKN (eng. *Economic Order Quantity*, EOQ)²³. Osnovni EOQ model primjenjiv je za situaciju gdje se proizvod nabavlja od drugog poduzeća. Taj model počiva na određenim uvjetima i pretpostavkama:

- potražnja je konstantna (uniformna i poznata),
- cijena jedinice proizvoda ne ovisi o veličini narudžbe,
- vrijeme nabave je poznato (eng. *lead time*), tako da isporuka stiže kada nestanu zalihe,
- troškovi naručivanja su isti bez obzira na količinu u narudžbi,
- troškovi držanja zaliha su linearna funkcija broja jedinica proizvoda na zalihi.

Dakle, problem je deterministički. Navedeni uvjeti i pretpostavke eliminiraju nesigurnost odnosno vjerojatnost iz razmatranja. Takav model uspješno koriste mnoga poduzeća, no isto tako je za mnoge realne situacije preveliko pojednostavljenje problema. Cilj tog modela je minimizirati ukupne godišnje troškove zaliha. Količinu zaliha u vremenu prikazuje slika 4.4.,

²³ U daljnjem tekstu i matematičkim izrazima, radi sličnosti s stranim izvorima, koristi se oznaka EOQ.

iz koje je vidljivo da se radi o idealnoj situaciji opisanoj navedenim uvjetima i pretpostavkama.



Slika 4.4. Količina zaliha za idealnu situaciju

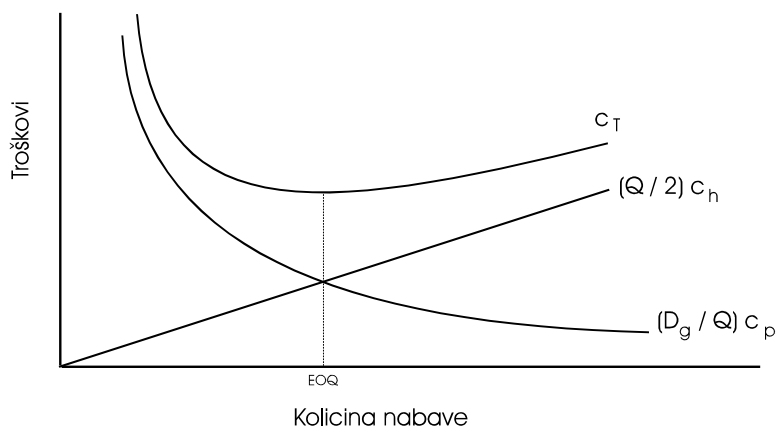
U osnovnom EOQ modelu ukupni godišnji troškovi ovise o troškovima držanja zaliha i troškovima naručivanja, i iznose

$$c_T = \frac{Q}{2} \cdot c_h + \frac{D_g}{Q} \cdot c_p \quad (1)$$

gdje su

c_T – ukupni godišnji troškovi
 Q – količina nabave
 D_g – godišnja potreba
 c_h – godišnji trošak držanja zaliha jedne JS
 c_p – trošak naručivanja

Vidljivo je dakle da se ukupni troškovi sastoje od dvije komponente. Slika 4.5. je grafički prikaz ukupnih troškova i glavnih komponenti u ovisnosti o količini nabave.

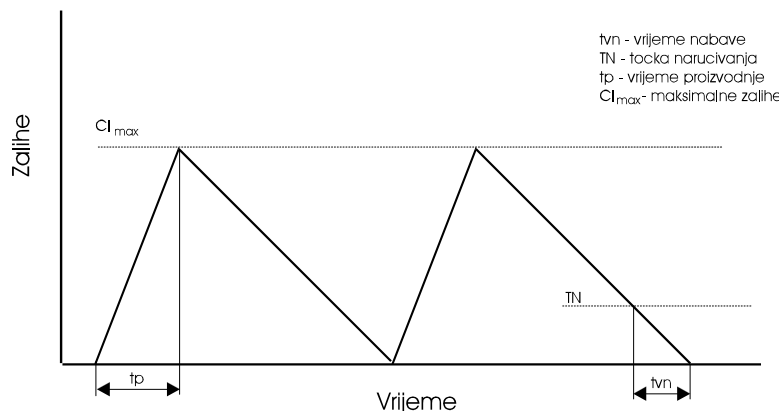


Slika 4.5. Odnos troškova nabave i troškova držanja zaliha

Traženjem ekstrema izraza za ukupne troškove dobije se iznos količine po narudžbi za koju su ukupni troškovi minimalni, i to je ekonomska količina nabave (EOQ).

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot D_g \cdot c_p}{c_h}} \quad (2)$$

Već je rečeno da se zbog pretpostavki korištenih za razvoj EOQ modela isti ne može primjeniti na sve situacije. Jedna od njih je da ukupna količina materijala jedne narudžbe dolazi istovremeno. Ako se ta pretpostavka zamijeni s pretpostavkom da se materijali interno proizvode ili nabavljaju po uniformnom iznosu p , može se govoriti o proizvodnom modelu. Normalno da proizvodni iznos p mora biti veći od iznosa potražnje d , inače ne dolazi do akumulacije zaliha. Za taj model slika 4.6. prikazuje grafički količinu zaliha.



Slika 4.6. Količina zaliha proizvodne situacije

Proizvodni proces jednog proizvoda traje Q/p vremena, da se popune zalihe tog proizvoda. Nakon toga se proizvodna oprema može podesiti i proizvoditi druge proizvode. Cilj ovog modela je prema tome pronaći najbolju količinu proizvoda koje treba proizvesti svaki puta kada se pojave troškovi podešavanja opreme.

Promatranjem jednog ciklusa zaliha vidljivo je da maksimalni iznos zaliha CI_{max} pojavljuje u vremenu Q/p nakon početka akumuliranja zaliha. Prema tome maksimalna količina zaliha iznosi

$$CI_{max} = \frac{Q}{p}(p - d) = Q(1 - p/d) \quad (3)$$

Kako se ovaj puta akumulira $Q(1-p/d)$ zaliha, prosječna količina zaliha iznosi $Q(1-p/d)/2$. Ukupni troškovi za ovaj model sada iznose

$$c_T = \frac{Q(1 - p/d)}{2} \cdot c_h + \frac{D_g}{Q} \cdot c_p \quad (4)$$

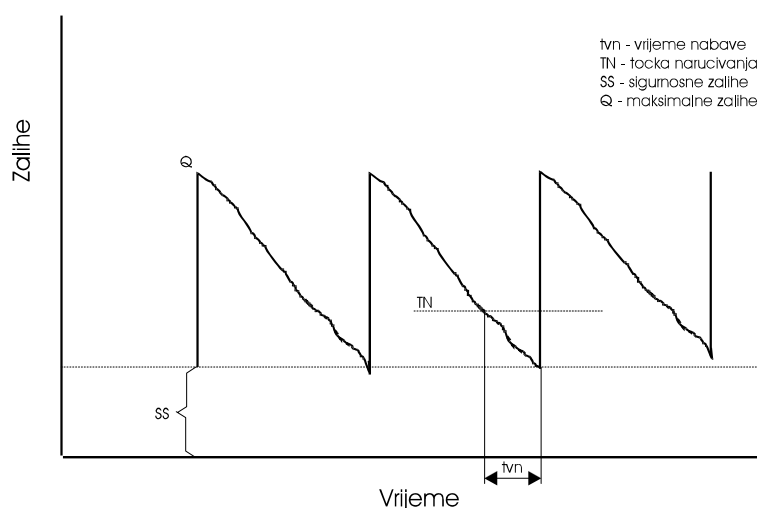
Traženjem ekstrema tog izraza dobije se ekonomična količina proizvodnje EKP (eng. *Economic Production Quantity*, EPQ)²⁴,

²⁴ U daljnjem tekstu i matematičkim izrazima, radi sličnosti s stranim izvorima, koristi se oznaka EPQ.

$$EPQ = \sqrt{\frac{2 \cdot D_g \cdot c_p}{c_h \cdot (1 - d/p)}} \quad (5)$$

Za EOQ i EPQ vrijedi da su troškovi držanja zaliha jednaki troškovima naručivanja odnosno podešavanja opreme. Jasno je dakle da će se smanjenjem troškova naručivanja i troškova podešavanja opreme zapravo dobiti uvećana korist.

Slijedeća pretpostavka koja je uvedena u dva navedena modela također ograničava primjenu tih modela na neke realne situacije. Pretpostavka da su potražnja i vrijeme nabave poznati (deterministički) za realne situacije ne vrijede. Zbog toga poduzeća trebaju zalihe da se zaštite od nedeterminističke potražnje i neplaniranih situacija. Sredstvo zaštite da poduzeće ne ostane bez proizvoda (što može imati za posljedicu ogromne troškove) su sigurnosne zalihe (SS). Sigurnosne zalihe su prosječna količina zaliha koja postoji kada dođe popunjavanje (trenutak prijama ili početak proizvodnog ciklusa tog proizvoda). Ponekad je potražnja manja od očekivane, pa će se na zalihama u trenutku popunjavanja naći i više proizvoda nego je sigurnosna zaliha, no ponekad će potražnja biti veća od očekivane, pa će se do tog trenutka već koristiti i proizvodi sigurnosne zalihe. Slika 4.7. prikazuje grafički količinu zaliha u vremenu kada postoji sigurnosna zaliha.



Slika 4.7. Količina zaliha uključujući sigurnosnu zalihu

Postoje različiti načini na koji poduzeća određuju količinu sigurnosnih zaliha. Ponekad je to rezultat iskustva menadžera koji odrede količinu zaliha pri kojoj se naručuju proizvodi. Na temelju prijašnjih vremena narudžbe ili potražnje kupaca moguće je odrediti distribuciju vjerojatnosti potražnje po vremenu narudžbe, te odrediti nivo usluge (eng. *service level*) za koji neće doći do nestanka zaliha. Matematički model kojim se eksplicitno određuje količina zaliha jedan je od čestih modela za određivanje sigurnosne zalihe. Jasno je da pokrivanje svih mogućih varijacija potražnje i vremena naručivanja može dovesti do znatnog povećanja troškova držanja zaliha, i u nekoj točki možda je bolje zbog troškova dozvoliti da ponestane zaliha. Problem se dakle svodi na određenje količine sigurnosnih zaliha za koje se očekivani troškovi držanja izjednačavaju s očekivanim troškovima nestanka zaliha (detaljnije u Dilworth [3] ili Moder i Elmaghraby [31]).

4.3.1.2. Postupci skladištenja

Izbor načina na koji se materijal raspoređuje u skladištu ima utjecaj na planirani broj mjesta odlaganja u skladištu. Način skladištenja, odnosno postupak skladištenja, odabire se na temelju nivoa aktivnosti protoka pojedinih materijala, potrebi skladišnog prostora, rasporedu prijama i broju vrsta materijala na skladištu. Slijedeća tri postupka skladištenja najčešća su u skladištima:

- slučajno skladištenje,
- unaprijed određeno skladištenje i
- skladištenje po zonama.

U **slučajnom skladištenju** (eng. *random storage*) nema dodjeljivanja mjesta skladištenja nijednoj jedinici skladištenja unaprijed. Materijal se skladišti na bilo koju slobodnu lokaciju. Najčešće se proizvodi odlažu na najpogodniju lokaciju i izuzimaju po principu FIFO²⁵. To omogućuje rotaciju zaliha uz ostvarenje efikasnosti rukovanja. Rezultat skladištenja je vrlo sličan potpuno slučajnoj politici skladištenja ako su protok u skladištu i iskorištenje kapaciteta visoki.

Kod **unaprijed određenog skladištenja** (eng. *dedicated storage*) svaka vrsta materijala ima unaprijed dodijeljen određeni broj mjesta odlaganja. Unaprijed određeno skladištenje koristi se da se maksimizira protok, te se lokacije proizvodima dodjeljuju na temelju odnosa nivoa aktivnosti i broja dodijeljenih mjesta odlaganja. Kod toga je bitno da se nivo aktivnosti odredi kao broj odlaganja/izuzimanja u vremenu, a ne po količini materijala. Jedinica skladištenja odlaže se na najbliže mjesto odlaganja koje je unaprijed dodijeljeno tom tipu proizvoda, a izuzimanje je na principu FIFO.

Unatoč većem protoku unaprijed dodijeljenog skladištenja, ono se ne koristi toliko često koliko bi trebalo [15]. Jedan razlog za to je taj što je potrebno više informacija da se planira sustav za maksimalnu efikasnost. Moraju se vrlo pažljivo procijeniti nivoi aktivnosti i potrebe za mjestima odlaganja. Drugi razlog je taj što unaprijed dodijeljeno skladištenje nakon instaliranja sustava zahtijeva odgovarajuće upravljanje takvim sustavom da se realiziraju prednosti takvog skladištenja. Kada se uvjeti znatno promijene, potrebno je napraviti relokaciju da se ostvare te prednosti. Također, kada postoji mnogo različitih tipova proizvoda, unaprijed dodijeljeno skladištenje baziranom na pojedinom tipu proizvoda nije praktično. U tom slučaju koristi se skladištenje po zonama.

U slučaju da postoji veliki broj tipova proizvoda koji znatno variraju po zahtjevima za mjesta odlaganja i protoku, koristi se **skladištenje po zonama** (eng. *zoned storage*). Proizvodi se na temelju ABC analize, prema odnosu nivoa aktivnosti i potrebnog broja mjesta odlaganja, podijele u grupe (najčešće 3 do 5), i svakoj grupi unaprijed se dodijeli jedna zona. Proizvodi određene grupe skladište se u dodijeljenoj zoni po slučajnom rasporedu. Takvo skladištenje može objediniti prednosti unaprijed dodijeljenog skladištenja što se tiče povećanja protoka, te prednosti slučajnog skladištenja što se tiče potrebnog broja mjesta odlaganja.

Utjecaj postupka skladištenja na planirani broj mjesta skladištenja ilustrirati će se jednim primjerom ([15], primjer 9.3, str. 421). Pretpostavimo da se 6 proizvoda (A, B, C, D, E, F) prima u skladište po rasporedu prema tablici 4.1. Zbrajanjem količine zaliha svih 6 proizvoda dobije se ukupna količina zaliha na skladištu po periodima. U slučaju slučajnog skladištenja potreban broj mjesta skladištenja jednak je maksimalnoj ukupnoj količini zaliha, koja u ovom

²⁵ Po principu FIFO, prvo se izuzima onaj materijal koji je prvi ušao u skladište, kratica od engleski *First In First Out*

slučaju iznosi 105 jedinica skladištenja. U slučaju unaprijed dodijeljenog skladištenja potreban broj mjesta skladištenja jednak je sumi pojedinih maksimalnih iznosa zaliha, i za ovaj primjer iznosi 140. Dakle, za ovaj primjer skladištenje sa unaprijed dodijeljenim skladištenjem zahtjeva 1/3 više prostora od skladištenja po slučajnom rasporedu.

Tablica 4.1. Količina proizvoda u skladištu po vremenskim periodima

PERIOD	PROIZVODI, kom.						UKUPNO, kom.
	A	B	C	D	E	F	
I	24	12	2	12	11	12	73
II	22	9	8	8	10	9	66
III	20	6	6	4	9	6	51
IV	18	3	4	24	8	3	60
V	16	36	2	20	7	24	105
VI	14	33	8	16	6	21	98
VII	12	30	6	12	5	18	83
VIII	10	27	4	8	4	15	68
IX	8	24	2	4	3	12	53
X	6	21	8	24	2	9	70
XI	4	18	6	20	1	6	55
XII	2	15	4	16	24	3	64
XIII	24	12	2	12	23	24	97
XIV	22	9	8	8	22	21	90
XV	20	6	6	4	21	13	75
XVI	13	3	4	24	20	15	84
XVII	16	36	2	20	19	12	105
XVIII	14	33	8	16	13	9	98
XIX	12	30	6	12	17	6	83
XX	10	27	4	8	16	3	68
XXI	8	24	2	4	15	24	77
XXII	6	21	8	24	14	21	94
XXIII	4	18	6	20	13	18	79
XXIV	2	15	4	16	12	15	64

4.3.2. Prostorni raspored zone skladištenja

Oblikovanje prostornog rasporeda je određivanje konfiguracije zone skladištenja. To oblikovanje mora biti usmjereno ostvarenju određenih ciljeva:

1. Efektivno iskoristiti prostor
2. Omogućiti efikasno rukovanje materijalom
3. Minimizirati troškove skladištenja uz ostvarenje željenog nivoa usluge
4. Omogućiti maksimalnu fleksibilnost
5. Omogućiti dobro upravljanje

Ovi ciljevi slični su općim ciljevima planiranja i oblikovanja skladišta. To ne bi trebalo biti iznenađujuće jer oblikovanje prostornog rasporeda uključuje u sebi koordinaciju rada, opreme i prostora. Da se ostvare ti ciljevi potrebno je integrirati nekoliko principa skladištenja, koji su navedeni u slijedećoj točki, prema *Tompkins et al.* [15].

4.3.3. Principi skladištenja

Prvi princip koji treba koristiti pri oblikovanju layouta je **popularnost**. Tipično će u skladištu 85% ukupnog protoka materijala biti rezultat 15% uskladištenog materijala.²⁶ U skladu s ciljevima oblikovanja prostornog rasporeda, najpopularnijih 15% materijala treba

²⁶ Popularnost materijala u skladištu često se ponaša po Paretovom zakonu, koji u originalu konstatira da je 85% svjetskog bogatstva u rukama 15% svjetske populacije.

uskladištiti tako da se minimizira prevaljeni put. U tom slučaju koristi se unaprijed dodijeljeno skladištenje.

Ukoliko materijal ulazi i izlazi iz zone skladištenja u istoj točki (ulaz je ujedno i izlaz), popularni materijali trebaju biti uskladišteni bliže ulaz/izlazu. Ukoliko materijali ulaze i izlaze iz skladišta u različitim točkama, najpopularniji materijali trebaju se skladištiti najbliže izravnoj ruti od ulaza do izlaza (što je najčešće glavni prolaz u skladištu). Ukoliko se ti materijali ne primaju i izdaju u istim količinama, materijali koji imaju najmanji odnos broja prijema i izdavanja trebaju se skladištiti bliže izlazu, i suprotno, materijali s najvećim odnosom broja prijema i izdavanja trebaju se skladištiti bliže ulazu.

Drugi princip odnosi se na **sličnost** proizvoda u skladištu. Proizvodi koji se primaju i izdaju zajedno trebaju biti zajedno i uskladišteni. Čak ako se proizvodi i ne primaju zajedno, ukoliko se zajedno izdaju pametno ih je zajedno uskladištiti, jer se na taj način može minimizirati prijedeni put pri komisioniranju.

Treći princip vezan je uz dimenzije i masu predmeta u skladištu, i naziva se **veličina**. Uskladištenje malih dijelova u prostoru oblikovanom za skladištenje velikih dijelova uzrokuje gubitak prostora. Isto tako dolazi do problema kada se zbog sličnosti i popularnosti treba smjestiti neki veliki predmet na mjesto predviđeno za mali, pa to nije moguće. Da se izbjegnu ti problemi, treba omogućiti varijaciju lokacija uskladištenja po veličini. Ako postoji nesigurnost u vezi veličine predmeta koje treba uskladištiti, mogu se primjeniti prilagodljivi (podesivi) regali i police.

Općenito, teški, glomazni, predmeti s kojima se teško rukuje, trebaju biti uskladišteni bliže mjestu korištenja. Međutim, dodjela mjesta treba biti bazirana na lakoći rukovanja i popularnosti predmeta. Ako su dva predmeta jednake popularnosti, veličine, onaj sa složenijim rukovanjem treba biti uskladišten bliže mjestu korištenja. Ako je jedan predmet popularniji od drugog, ali i lakši za rukovanje, tada treba odlučiti između relativne popularnosti i lakoće rukovanja. Teži predmeti trebaju biti uskladišteni u području s manjom visinom uskladištenja, i obrnuto.

Neke **karakteristike** materijala koji se skladišti često su razlog da se odstupa od metoda indiciranih popularnošću, sličnošću i veličinom. Lako pokvarljivi materijali, opasni materijali, lomljivi materijali, materijali značajne vrijednosti itd. neke su od tih karakteristika.

Konačno, uz razmatranje navedenih principa, prostorni raspored treba oblikovati uz **maksimizaciju iskorištenja prostora i usluge korisnicima**. Pri tome treba paziti da se ne ugrozi pristup materijalima. Prolazi moraju biti dovoljno široki da omoguće efikasno rukovanje materijalom.

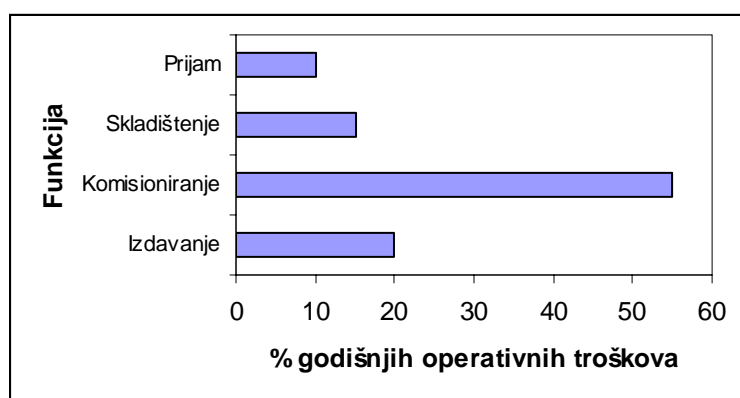
4.4. Komisioniranje

Komisioniranje, odnosno priprema materijala (eng. *order picking*) je proces izuzimanja proizvoda iz određene skladišne lokacije na temelju narudžbe korisnika (zahtjeva za izdavanje).²⁷ U većini poduzeća to je proces s najvećim udjelom manualnog rada [1], s najvećim utjecajem na skladišne troškove. Prema [15] komisioniranje uzrokuje 55% ukupnih troškova skladištenja, što pokazuje slika 4.8. Jedan od načina racionalizacije troškova skladištenja je smanjenje vremena trajanja pojedinih aktivnosti skladišnog procesa. Poznato je iz prakse da u skladištima treba za komisioniranje najviše vremena (u klasičnim skladištima i

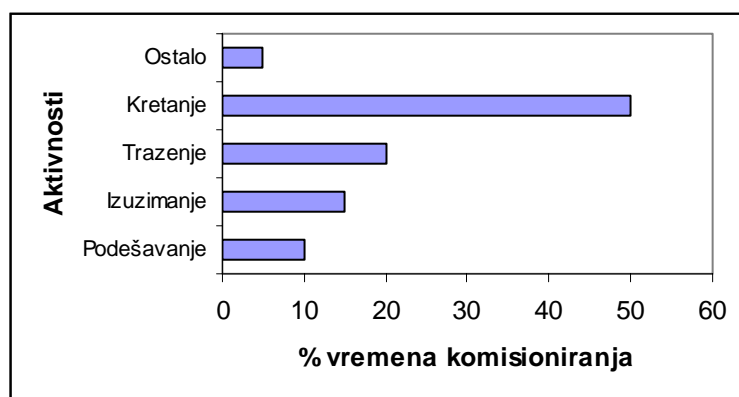
²⁷ Poseban slučaj je izravno komisioniranje kada nema skladištenja, tj. kada se materijal iz prijamne robe izravno premješta u predajnu zonu crossdockingom (vidi točku 4.5.).

do 90% od ukupnog vremena [12]). Od toga je oko 50% vremena komisioniranja utrošeno na vožnju sredstva za komisioniranje, vidljivo iz slike 4.9., pa je često moguće postići znatnu uštedu na vremenu protoka komisioniranja, a time i smanjenje troškova, smanjenjem prijednog puta u procesu komisioniranja.

Uz navedeno, mnogi problemi javili su se posljednjih godina zbog pojave *Just-In-Time*, *Quick Response* i *Cycle Time Reduction* koncepcija zbog kojih je otežan management (upravljanje) aktivnostima komisioniranja. Naime, manje količine po narudžbi trebaju se dostavljati većom frekvencijom, a također se sustav komisioniranja sastoji od većeg broja tipova materijala. Kao rezultat povećali su se zahtjevi na protok, prostor i točnost. Konvencionalni odgovor na te povećane zahtjeve zapošljavanjem novih ljudi ili ulaganjem u automatiziraniju opremu na sreću se može zamijeniti boljim rješenjem: uporabom različitih principa poboljšanja produktivnosti procesa komisioniranja, koji se navode u slijedećem poglavlju. U tu svrhu koriste se i brojni matematički i heuristički modeli za optimalizaciju prijednog puta pri komisioniranju. Također, smanjenje prijednog puta pri komisioniranju moguće je ostvariti i odabirom određenog postupka skladištenja. Istraživanje i brojni primjeri primjene u praksi pokazuju da se pravilnim odabirom postupaka skladištenja i komisioniranja može smanjiti vrijeme hodanja i vožnje pri komisioniranju i do 40% [24]. To jasno navodi i na zaključak o smislenosti integracije postupaka skladištenja i postupaka komisioniranja, a time relevantnih modela, čime se ponovno naglašava važnost izgradnje jednog većeg, općeg modela za oblikovanje skladišnog sustava. Ovaj problem detaljnije se opisuje u poglavlju 5.

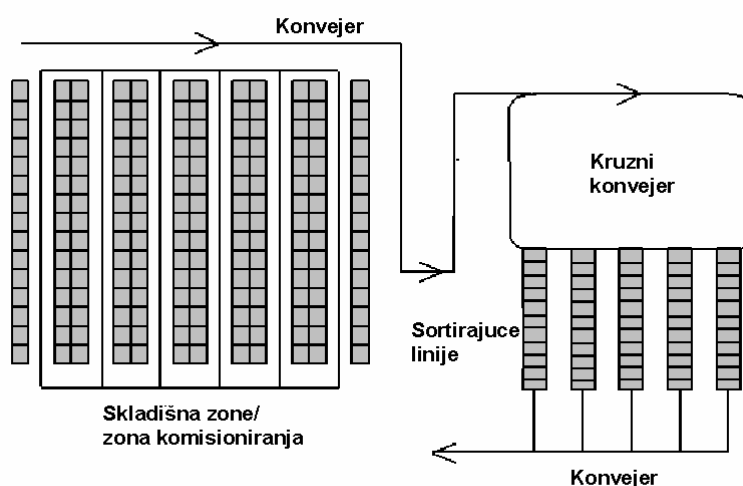


Slika 4.8. Tipična raspodjela troškova skladišnih operacija [15]



Slika 4.9. Tipična raspodjela vremena komisioniranja [15]

Narudžbe se često u praksi dijele na podnarudžbe, koje se prikupljaju u različitim područjima skladišta i/ili pomoću različitih sredstava za komisioniranje. Također je moguće da jedno sredstvo prikupi proizvode od nekoliko narudžbi istovremeno. Razlog za to je smanjenje prijednog puta, te time povećanje protoka odnosno produktivnosti sustava za komisioniranje (detaljan opis navedenoga nalazi se u slijedećim točkama). U tim slučajevima nužno je prikupljene proizvode sortirati prema pojedinim narudžbama, što zahtijeva postojanje sustava za sortiranje. Na slici 4.10. prikazan je jedan primjer prostornog rasporeda sustava za komisioniranje i sortiranje.



Slika 4.10. Primjer prostornog rasporeda sustava za komisioniranje i sortiranje

Proces komisioniranja obavlja se u skladišnoj zoni (ujedno i zona komisioniranja) kretanjem sredstva za komisioniranje između regala, te odlaganjem prikupljenih JS na konvejer, koji ih transportira do sustava za sortiranje. Svaka JS se prosljeđuje na kružni konvejer, sa kojega ulazi na određenu sortirajuću liniju, svaka za određenu narudžbu.

4.4.1. Postupci komisioniranja

Tompkins et al. [15] navodi tri operativna postupka za komisioniranje (eng. *orderpicking policies*): komisioniranje prema narudžbi, “batch” komisioniranje” i komisioniranje po zoni. Roodbergen [1] pak pri sistematizaciji postupaka komisioniranja govori o dvije metode: komisioniranje prema narudžbi i komisioniranje po zoni, dok za svaku metodu dodjeljivanje može biti po jednoj (eng. *single orderpicking*) ili po više narudžbi - “batch” komisioniranje (eng. *batch orderpicking*). Također pod postupke komisioniranja ubraja i postupke izbora puta komisioniranja - *routinga* (eng. *routing policies*), s ciljem optimizacije prijednog puta. U nastavku se daje opis postupaka komisioniranja prema [15] te postupci izbora puta komisioniranja.

Komisioniranje prema narudžbi (eng. *single orderpicking*) – za svaku se pojedinu narudžbu prikupi i kompletira sav materijal, pri čemu komisioner (eng. *orderpicker*) prođe cijelo područje komisioniranja. Glavna prednost takvog komisioniranja je integritet pojedine narudžbe.

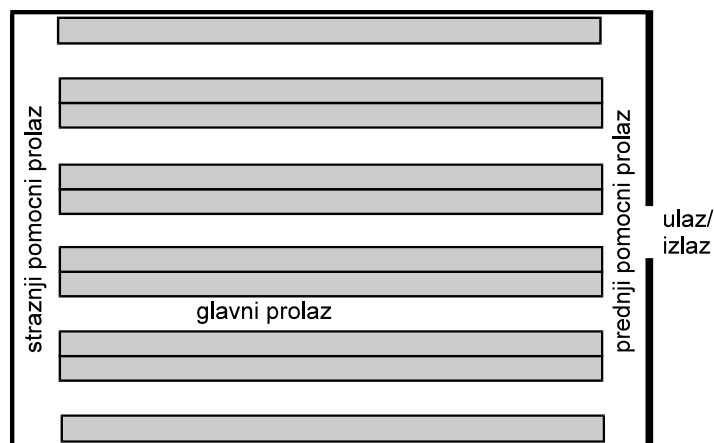
“Batch” komisioniranje – nekoliko narudžbi se spaja zajedno, te komisioner prikuplja materijal sa više narudžbi. Sortiranje materijala može biti u toku komisioniranja (eng. *sort-*

while-pick) ili naknadno pomoću sustava za sortiranje. Kao rezultat ove politike smanjuje se prijedeni put po narudžbi, a time i ukupno vrijeme komisioniranja. No nedostatak takve politike je potrebno vrijeme za sortiranje, te povećana mogućnost nastanka greške u kompletiranju narudžbi.

Komisioniranje po zoni (eng. *zone orderpicking*) – da bi se smanjio put (a time i vrijeme) komisioniranja, područje komisioniranja podijeljeno je u zone. Tijekom komisioniranja prikuplja se materijal dijela narudžbe, koji se nalazi u toj zoni. U pojedinoj zoni može se prikupljati materijal za jednu ili više narudžbi. Prednost ovakvog komisioniranja je također u smanjenom vremenu komisioniranja zbog smanjenog prijedenog puta, no također je nužno naknadno sortiranje prikupljenog materijala. Dodatna prednost ovakvog komisioniranja je izbjegavanje koncentriranja više komisionera u određenom području, a isto tako svaki komisioner koji radi u određenoj zoni poznaje vrstu i raspored proizvoda te zone. U praksi se zone obično temelje na svojstvima materijala, kao što su dimenzije, masa, potrebni uvjeti skladištenja ili zahtjevi na sigurnost.

U prethodnom dijelu rada dan je naglasak na nužnost smanjenja vremena komisioniranja, vezano uz smanjenje troškova i smanjenje vremena ispunjenja narudžbe. Jedan od načina je optimiziranje rute komisioniranja, odnosno kojim redoslijedom te kojim putem se prikuplja materijal u području komisioniranja da se minimizira prijedeni put. Jedan od prvih efikasnih algoritama dan je od *Ratliffa* i *Rosenthala* [25], no on je bio ograničen na tzv. “osnovni prostorni raspored skladišta”. On podrazumjeva skladište s jednim ulaz/izlazom, te s dva pomoćna prolaza za mijenjanje prolaza između regala, jednim na početku i jednim na kraju skladišta (vidi sliku 4.11.). Za takav tip skladišta postoji i nekoliko heurističkih metoda za određivanje routinga.

U praksi postoji mnogo slučajeva skladišta s više glavnih prolaza (takva skladišta sastoje se dakle od dva ili više blokova redova regala i prolaza), te je određivanje optimalnog puta komisioniranja dodatno otežano.



Slika 4.11. Osnovni prostorni raspored skladišta

Danas se najčešće u takvim skladištima koriste različite heurističke metode, proizašle iz dobro poznatih heuristika za osnovni skladišni prostorni raspored. Također se razvijaju i algoritmi za određivanje optimalnog puta komisioniranja za različite rasporede skladišta. Detaljnije objašnjenje spomenutih metoda i algoritama nalazi se u 5. poglavlju.

4.4.2. Postupci sortiranja

Prilikom “batch” komisioniranja i komisioniranja po zoni, materijali se nakon prikupljanja moraju sortirati. Dva najčešća postupka sortiranja u industriji danas su po čvrstoj prioritetnoj shemi, FPS (eng. *fixed priority scheme*) i pravilo slijedećeg slobodnog, NAR (eng. *next available rule*). U zoni komisioniranja (ili skladištenja) jedan ili više komisionera prikupljaju JS iz više narudžbi (“batch” komisioniranje ili komisioniranje po zoni), te prikupljene JS odlažu na sustav konvejera (vidi sliku 4.10.). Jedan takav skup naziva se “val”, te dolazi na kružni konvejer kada je on prazan (završeno prethodno sortiranje). JS iz određene narudžbe ulaze u dodijeljenu liniju sortiranja za tu narudžbu. Ukoliko se koristi politika sortiranja FPS, linije sortiranja dodijeljuju se narudžbama određenim redoslijedom prema odabranom prioritetu (npr. prvo veće narudžbe). Ukoliko se koristi postupak sortiranja NAR, slobodna linija sortiranja dodijeljuje se onoj narudžbi u koju spada JS koja može prva ući na tu liniju. Ukoliko JS ne pripada niti jednoj narudžbi kojoj je dodijeljena linija sortiranja, ona nastavlja kretanje po kružnom konvejeru. Kada se sve JS iz jedne narudžbe sortiraju i odu na utovar u predajnu zonu, linija sortiranja se oslobodi za slijedeću narudžbu. Ukoliko narudžba sadrži veći broj JS nego je kapacitet odlaganja jedne linije sortiranja, može doći do blokiranja linije sortiranja, te u tom slučaju JS nastavljaju kretanje po kružnom konvejeru dok se linija ne oslobodi. Nakon što se sortiraju sve narudžbe, s konvejerskog sustava se na kružni konvejer puštaju JS iz slijedećeg “vala” narudžbi.

Vrlo malo istraživanja povezano je sa sustavom za sortiranje, odnosno postupcima sortiranja [1]. Kako se primjenom “batch” komisioniranja smanjuje vrijeme komisioniranja, proces sortiranja zahtijeva pak dodatno vrijeme, te pravilno oblikovan sustav za sortiranje može donijeti uštede na operativnim troškovima. No postojanje sustava za sortiranje povezano je i s većim investicijskim troškom. Kako su konstrukcijski troškovi automatiziranih distribucijskih centara od 10-50 milijuna dolara, ovisno o veličini, lokaciji i zahtjevima automatizacije, s operativnim troškovima koji često premašuju 1000 dolara po satu [47], važnost razmatranja tog problema je više nego očita. Odluka o poboljšanju performansi skladišta vezano uz proces komisioniranja investiranjem u opremu sustava za sortiranje dio je taktičkog odlučivanja, što ponovno navodi na zaključak da su taktičke i operativne skladišne odluke međusobno zavisne, te ih se tako mora razmatrati pri oblikovanju skladišta.

U istraživanju utjecaja postupka sortiranja na automatizirani sustav za sortiranje, *Johnson* [47] je razvio analitički izraz za vrijeme sortiranja za određeni (opisani) akumulacijsko sortacijski sustav, A/SS, koji radi po jednom od dva spomenuta postupka sortiranja. Pokazalo se da NAR postupka sortiranja daje bolje rezultate od bilo kojeg prioritetnog postupka sortiranja. No, efekat odabranog postupka sortiranja gubi se sa značajnim porastom blokiranja linija sortiranja. Iz toga slijedi zaključak da skladišni menadžeri koji žele poboljšati performanse sustava moraju prvo riješiti problem blokiranja linija, prije razmatranja postupka sortiranja [47]. Također, rezultati ovise o načinu puštanja “valova” narudžbi. U slučaju sekvencijalnog puštanja “valova”, poneke linije dosta vremena ostaju slobodne, što ukazuje na gubitak vremena. *Bozer et al.* [48] predlažu preklapanje “valova”, što će dovesti do kontinuiranog tijeka materijala, no za takve sustave može biti otežana kontrola [47].

Da se smanji i vrijeme sortiranja, koje nastaje zbog kruženja JS po kružnom konvejeru, a time bi se povećao protok sustava za sortiranje, potrebno je smanjiti ili eliminirati broj kruženja. *Meller* [49] je u svom radu razvio algoritam za optimalno dodjeljivanje narudžbi linijama za sortiranje, na temelju prethodno registriranog redoslijeda JS (pri ulazu u AS/S JS se skeniraju). Simulacijom na primjerima dokazano je smanjenje vremena sortiranja uporabom tog algoritma u odnosu na najčešće korištenu heurističku metodu (detaljnije u [49]). Kako

razvijeni algoritam daje optimalnu dodjelu narudžbi linijama za sortiranje prema rasporedu dolaska JS u AS/S, nameće se zaključak da bi se najmanje vrijeme sortiranja postiglo ako bi se unaprijed odredio raspored dolazaka tih JS. To implicira nužnost razmatranja “batch” komisioniranja i komisioniranja po zonama te sortiranja kao jedne cjeline, s ciljem razvijanja novih tehnika i metoda, odnosno jednog općeg modela komisioniranja i sortiranja [1].

4.4.3. Principi komisioniranja

Različite empirijske spoznaje te primjena znanstvenih metoda i modela koji se navode u prethodnom dijelu mogu se sažeti u listu principa komisioniranja kao načini kojima se može poboljšati produktivnost procesa komisioniranja bez povećanja broja zaposlenih ili značajnog ulaganja u visoko automatiziranu opremu. Prema *Tompkins et al.* [15] mogu se sažeto nabrojati kako slijedi:

1. U suradnji s korisnicima, težiti da su narudžbe u jedinicama palete odnosno kutije, umjesto kutija odnosno komada. Na taj način moguće je smanjiti količinu manualnog rada, a isto tako izbjeći dodatno pakiranje.
2. Da se smanji vrijeme kretanja komisionera, jedan od najefektivnijih načina poboljšanja komisioniranja je uvođenje sustava na principu “roba-čovjeku”.
3. Različite zadatke komisioniranja moguće je kombinirati. Sustavom na principu “čovjek-robi”, izuzimanje materijala događa se istovremeno sa kretanjem. Korištenjem sredstva za komisioniranje sa čovjekom, za vrijeme vožnje od lokacije do lokacije čovjek može obavljati poslove sortiranja, pakiranja i dokumentiranja.
4. Pojavom sve većeg broja manjih narudžbi, primjenom “batch” komisioniranja moguće je znatno smanjiti vrijeme kretanja pri komisioniranju.
5. Kako najčešće mali broj JS učestvuje s velikim postotkom zahtjeva za izdavanje i obrnuto, smještaj takvih JS u zone može znatno pridonijeti povećanju produktivnosti komisioniranja. Takve JS moraju biti smještene na najlakše dostupnim lokacijama. Isto tako, oni materijali koji se najčešće izuzimaju zajedno trebaju biti i smješteni zajedno.
6. Pri komisioniranju po principu “čovjek-robi”, posebno u najfrekventnijoj zoni, potrebno je pažljivo planirati kretanje komisionera da ne dođe do zagušenja. U slučaju komisioniranja po principu “roba-čovjeku”, planiranje je nužno da ne dođe do zagušenja sustava.
7. U cilju smanjenja vremena komisioniranja smanjenjem vremena kretanja, potrebno je odrediti raspored prikupljanja materijala.
8. Da bi se smanjilo vrijeme i greške, potrebno je organizirati dokumente ili displeje na način da se olakša rad komisionera. Težiti uvođenju sustava kojim bi se eliminirala uporaba papirnih dokumenata.
9. Uporaba vozila za komisioniranje koji su prilagođeni politikama komisioniranja, s ciljem da se minimizira vrijeme i greške, te omogućiti što ergonomskiji i komforniji rad čovjeka na tom vozilu.

4.5. Crossdocking

Danas se skladišni manageri suočavaju sa zadatkom povećanja efikasnosti operacija u skladištu. U središtu interesa su četiri glavne funkcije skladišta: prijam, skladištenje, komisioniranje i izdavanje, odnosno razmatranje kako poboljšati svaku od njih i kako one međusobno djeluju. Međutim, najbolji način smanjenja troškova i povećanja efikasnosti ne mora biti poboljšanje same funkcije, već eliminiranje iste. Smanjenje troškova rukovanja materijalom prebacivanjem primljene robe iz prijamne zone izravno u predajnu zonu,

odnosno korisniku, jedna je od osnovnih definicija crossdockinga²⁸. Zbog svog potencijala da eliminira skladištenje i komisioniranje, dvije funkcije s najvišim troškovima u skladištu, crossdocking je zadnjih godina XX. stoljeća u centru pažnje svih znanstvenika i praktičara vezanih uz skladištenje, odnosno šire, uz logistiku. Prema [34], procjena je da 35% materijala koji prolaze kroz neki logistički lanac prolazi operaciju crossdockinga, dok prema [35] čak 74% skladišta u SAD provode crossdocking.

Crossdocking kao skladišna aktivnost i nije novost. Zapravo su mnoga skladišta u prošlosti imala neformalni crossdocking ispunjavajući prethodno pristigle narudžbe s tek pristiglom robom, prije nego se ta roba uskladištila u skladištu. Takav crossdocking naziva se “oportunistički” crossdocking (eng. “*opportunistic*” *crossdocking*) [36].

Kada se razmatra crossdocking, osnovna je sama definicija crossdockinga – smanjenje troškova rukovanja materijalom prebacivanjem primljene robe u prijamnoj zoni izravno u predajnu zonu, odnosno korisniku. No, ostvarenje tog cilja, odnosno uspješan crossdocking, može biti samo s pozicije skladišta koje obavlja taj crossdocking, dok je u širem kontekstu, logističkom lancu, to pozicija dobijam/gubim (eng. *win/lose*). Naime, smanjenje zaliha kod proizvođača koji primjenjuje proizvodni JIT crossdocking uzrokuje povećanje skladišta, a time i troškova, kod svojih dobavljača. Slično, lokalna distribucijska skladišta s primjenom crossdockinga smanjuju svoje troškove, ali su time prebacili troškove pakiranja, paletiziranja, skladištenja i dr. na svoje dobavljače, distribucijske centre ili proizvođače. Dakle, da bi se ekonomski opravdao crossdocking, potrebno je ostvariti situaciju crossdockinga dobijam/dobijam (eng. *win/win*). Jedan od načina je definirati troškove i uštede vezane za crossdocking, te ih dodijeliti pojedinim aktivnostima (metoda koja se pri tome najčešće koristi je ABC – eng. *Activity Based Costing*²⁹). Ukoliko bi se crossdockingom ostvarila ušteda, i koju će dijeliti oba partnera, tada je uvođenje crossdockinga ekonomski opravdano. Također, osim tih kvantitativnih ekonomskih pokazatelja, moraju se razmotriti i kvalitativne koristi vezane za crossdocking. Da li će uvođenje crossdockinga dovesti do povećanja prodaje, povećanja lojalnosti korisnika, da li će crossdocking biti neophodan zahtjev korisnika u budućnosti, da li konkurenti razmatraju uvođenje crossdockinga i sl. Svi pozitivni odgovori na ta pitanja dovesti će do ekonomskih koristi u budućnosti.

4.5.1. Metode crossdockinga

Postoje tri različite metode crossdockinga [37]:

- Proizvodni (JIT) crossdocking (eng. *Manufacturing (JIT) Crossdocking*)
- Distribucijski crossdocking (eng. *Distribution Crossdocking*)
- Terminalske crossdocking (eng. *Terminal Crossdocking*)

U proizvodnom crossdocking, umjesto transporta gotovih proizvoda iz proizvodnih pogona u skladište gotove robe, oni se transportiraju do predajne zone. Idealna situacija je kada je tijekom gotove robe iz proizvodnje izravno u vozila vanjskog transporta, i takav slučaj zove se

²⁸ Kao hrvatski izraz za crossdocking mogle bi se upotrijebiti riječi prebacivanje, izravna predaja ili izravno komisioniranje, no autor rada smatra da je izvorno engleska riječ “crossdocking” u uporabi među stručnim krugovima u Hrvatskoj, te se zbog razumljivosti rada ne prevodi. Također se ponegdje u literaturi mogu naći sinonimi za crossdocking kao eng. *dynamic warehousing* ili *flow-through processing*.

²⁹ Potrebno je razlikovati ABC metodu za dodjeljivanje troška pojedinim aktivnostima od ABC analize za određivanje klasa (grupa) materijala

“trenutni” proizvodni crossdocking (eng. *current manufacturing crossdocking*). Ukoliko to nije slučaj, gotova roba se odlaže u prostoru predajne zone, i čeka određeno vrijeme na utovar. Takav slučaj zove se “budući” proizvodni crossdocking (eng. *future manufacturing crossdocking*). Ovdje se nameće pitanje na koliko dugo vremena se roba odlaže u predajnoj zoni, a ne u skladišnoj zoni. Kako je prednost i trenutnog i budućeg crossdockinga smanjenje troškova rukovanja materijalom, a nedostatak budućeg crossdockinga potreban prostor za odlaganje u predajnoj zoni, određivanje tog vremena temelji se na smanjenju troškova rukovanja materijalom i troškova prostora za odlaganje.

Osim proizvodnog crossdockinga gotove robe (proizvodni crossdocking izravnog izdavanja), postoji i proizvodni crossdocking sirovina i poluproizvoda (proizvodni crossdocking izravnog prijama). U tom slučaju materijal (sirovine i poluproizvodi od dobavljača) se primaju Just-In-Time, te se izravno iz prijamne zone transportiraju u proizvodnju, čime se eliminira skladištenje. I u ovom slučaju prijam može biti za “trenutnu” i “buduću” proizvodnju.

Kao i kod proizvodnog crossdockinga, i u distribucijskom centru postoji “tekući” i “budući” crossdocking. Razlika je u tome što materijal u distribucijski centar dolazi u paletiziranim količinama, a operacija crossdockinga može biti u paletnim jedinicama ili jedinicama proizvoda. U slučaju drugonavedenog, za crossdocking se u većini slučajeva koristi sustav konvejera za sortiranje [37].

Terminalski crossdocking je specifična situacija kada korisnik želi jedinstvenu narudžbu od dva ili više proizvođača ili iz dva ili više distribucijska centra. U tom slučaju roba se ne transportira kupcu od proizvođača ili distribucijskih centara, već do terminala, gdje se sortira i spaja u jednu pošiljku (i u ovom slučaju sa ili bez odlaganja prije utovara, odnosno postoji “trenutni” i “budući” terminalski crossdocking).

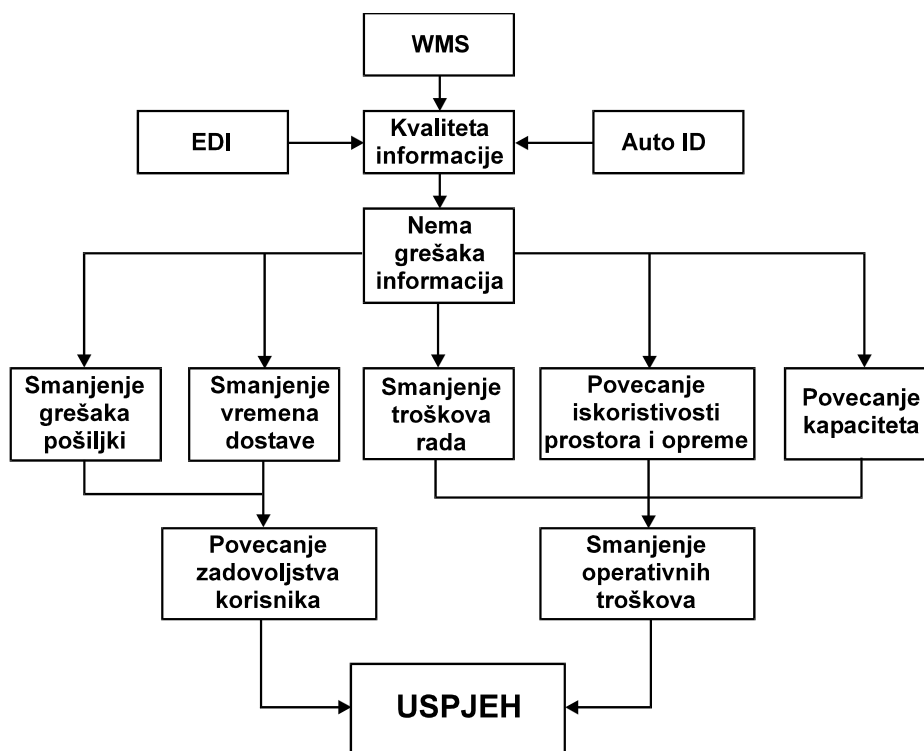
4.5.2. Zahtjevi za uspješan crossdocking

Za uspješan crossdocking potreban je informacijski sustav koji podržava crossdocking, prostor i opremu za odlaganje i rukovanje materijalom, te potrebne organizacijske promjene.

Nužnost dobrog informacijskog sustava proizlazi iz potrebe izbjegavanja grešaka pri crossdockingu (nužnost pravilne strategije informacijskog sustava [37]), u centru čega se nalazi sustav za upravljanje skladištem – WMS, koji je integracija identifikacijskog sustava, komunikacijskog sustava, softwarea i hardwarea. WMS upravlja svim internim tijekom informacija, a time i crossdocking aktivnostima, i kao takav mora podržavati tijek materijala od prijama, preko odlaganja, do izdavanja, bez pojave grešaka. Za točnu i pravovremenu informaciju, kao sastavni dio informacijskog sustava pojavljuju se i EDI tehnologija - elektronska razmjena podataka između dviju organizacija (u ovom slučaju dobavljača i skladišta, odnosno skladišta i korisnika), te tehnologija automatske identifikacije (Auto ID) - elektronska razmjena informacija unutar skladišta. Koristi i zahtjevi pravilne strategije informacijskog sustava prikazani su na slici 4.12.

Crossdocking operacije zahtijevaju adekvatni prostor, najčešće prijamne i predajne zone, te opremu. Spomenuti prostor mora biti dovoljno velik da omogući nesmetani tijek materijala između prijamne i predajne zone. Ponekad se taj tijek materijala automatizira i obavlja sustavom konvejera, u suprotnom obavlja se transportnim sredstvima prekidnog tijeka materijala (najčešće viličarima). U oba slučaja potrebno je minimalizirati prijedeni put, a time i vrijeme trajanja te aktivnosti. Određivanje potrebnog prostora i opreme temelji se i na vrsti

crossdockinga (“budući” ili “trenutni”), gdje se u većini slučajeva kod “budućeg” crossdockinga pojavljuje potreba za dodatnim prostorom za odlaganje. Također, u slučaju da se crossdocking ne obavlja s istim jediničnim teretima, postoji potreba za osobljem i opremom koje omogućuje odlaganje, depaletizaciju, sortiranje i paletizaciju.



Slika 4.12. Model strategije informacijskog sustava crossdocking

5. ANALITIČKI MODELI I METODE U OBLIKOVANJU SKLADIŠTA

Tehnološkim projektom skladišta rješavaju se procesi skladištenja, najčešće određenjem opreme i rješenjem prostornog rasporeda skladišta i sustava za rukovanje materijalom, a nakon toga postavljaju se parametri za ostale projekte. Projekt treba biti optimalan s obzirom na troškove i tehničko-tehnološko rješenje, pri čemu se koriste empirička saznanja i znanstveno razvijeni modeli i metode. Empirička saznanja opisana su u prethodnom dijelu rada, dok je ovo poglavlje posvećeno modelima i metodama oblikovanja skladišta.

Značajnije razmatranje problema skladištenja i oblikovanja skladišta počinje nakon Drugog svjetskog rata, no do sedamdesetih godina XX. stoljeća nije razvijeno mnogo optimizacijskih modela koji su se direktno bavili problemom oblikovanja skladišta [16]. Jedan od značajnijih doprinosa tom području je razvoj modela za oblikovanje optimalnog oblika skladišta minimizacijom troškova izgradnje i rukovanja materijalom, *Francisa i Whitea* [28]. Kasnije su razvijeni različiti modeli i metode oblikovanja, svaki baziran na određenim pretpostavkama. Poznatiji modeli oblikovanja prostornog rasporeda skladišne zone analizirani su i opisani u nastavku, točka 5.1.

Među svim procesima u skladištu, komisioniranje i danas ima izuzetno veliki utjecaj na troškove skladištenja, pa se mnogo pažnje pridaje oblikovanju tog segmenta skladišta. Za to su također razvijeni brojni modeli i metode, dijelom opisani u točki 5.2.

Pri oblikovanju sustava za rukovanje materijalom, pored ostalog, proračunava se i vrijeme radnog ciklusa, a u tu svrhu razvijeni su također brojni modeli i metode, od kojih se važniji opisuju u točki 5.3.³⁰

Modeli se najčešće odnose na određene dijelove ili aktivnosti skladišta. S ciljem smanjenja pojave suboptimalizacije takve je modele potrebno promatrati iz perspektive cjelokupnog sustava. Logičan je put do optimalnih rješenja sustavno povezivanje postojećih modela, te konačno izgradnja općeg modela koji će uključiti sve elemente skladišnog sustava. Također, skladište je samo jedan dio jednog logističkog lanca, što pak navodi na zaključak da će i to dati jedno suboptimalno rješenje, te je razvoj modela cijelog logističkog lanca zapravo krajnji cilj istraživača na ovom području. Detaljnije o tome u poglavljima 6. i 7. Jasno da je izgradnja jednog općeg egzaktnog modela izuzetno složena, po mišljenju nekih autora čak i nemoguća [16]. S druge strane simulacija se pojavila kao do sada najcjelovitija metoda za oblikovanje cjelokupnog sustava. No izgradnja simulacijskog modela koji će uključiti sve ulazne varijable također je izuzetno složena, te se zapravo danas u praksi najčešće koristi kombinacija analitičkih i simulacijskih modela. Analitičkim se modelima postiže optimizacija određenih dijelova skladišnog sustava, čime se smanjuje broj ulaznih varijabli, a kasnije se simulacijom razmatraju dinamički aspekti pojednostavljenog modela [16]. U točki 5.4. dan je osvrt na simulaciju.

5.1. Oblikovanje zone skladištenja

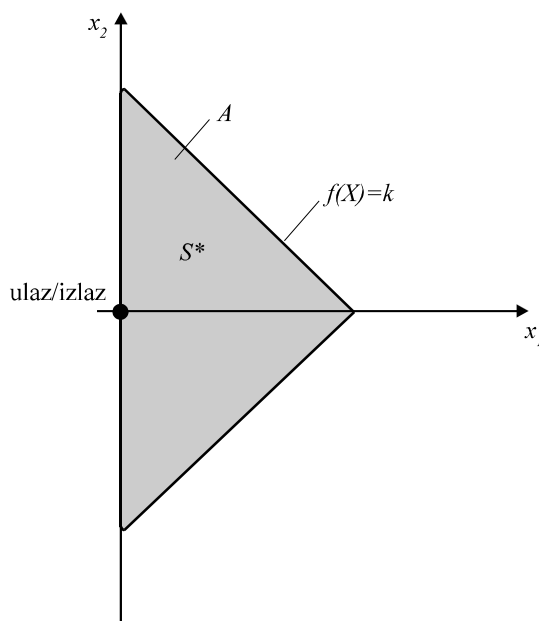
5.1.1. Model optimalnih kontura

Francis i White [28] razvili su model oblikovanja zone skladištenja na bazi određivanja izraza za izračunavanje očekivanog prijednog puta materijala (transportnog sredstva) u skladištu. Kao rezultat dobija se oblik površine koji je optimalno rješenje s obzirom na najmanji prijedni put (pretpostavljena je linearna ovisnost puta s troškovima

³⁰ Određivanje trajanja radnih ciklusa propisano je i standardima, npr. VDI 2391, a ponekad i proizvođači vozila daju gotove tablice ili dijagrame.

rukovanja materijalom). Zona skladištenja određena je oblikom konturne linije, koja je rezultat rješenja tog modela, a polazište je za nastavak razrade projekta skladišta.

Autori tog modela opisuju skladišnu zonu matematički. Skladište ima jedan ulaz/izlaz, koji se nalazi u ishodištu koordinatnog sustava (na periferiji skladišta). Površina na kojoj treba locirati skladište je skup svih točaka L , koji se nalazi u prvom i četvrtom kvadrantu. Pretpostavka je da će skladište biti s paralelnim regalima, odnosno prolazima, odnosno da je kretanje unutar skladišne zone rektilinearano. Površina skladištenja A zadana je na temelju planiranog broja mjesta skladištenja, puteva i prolaza. Jasno je da postoji beskonačno mnogo oblika površine A (općenito označena sa S), te je zadatak tog modela pronaći onaj oblik S^* za koji je prosječni prijeđeni put od ulaza/izlaza do mjesta skladištenja najmanji (prikaz na slici 5.1. prema Francisu i White).



Slika 5.1. Kontura površine teorijskog skladišta prema S^* modelu

Kako je S dio ravnine, prosječna udaljenost od točaka u S do ishodišta računa se pomoću integrala kako slijedi:

$$\iint_S \frac{1}{A} [|x_1| + |x_2|] dx_1 dx_2 . \quad (6)$$

Da bi se problem formulirao preciznije, te razvio za općenitiji skup problema, uveden je vektorski zapis. Ako se vektor X definira kao $X=(x_1, x_2)$, a funkcija $f(X)$ kao

$$f(X) = |x_1| + |x_2| \quad (7)$$

tada se može doći do jednostrukog integrala koji zamjenjuje dvostruki integral u izrazu (6),

$$\int_S \frac{1}{A} f(X) dX \quad (8)$$

Prema tome, potrebno je naći takvo rješenje da vrijedi relacija (9)

$$\int_{S^*} \frac{1}{A} f(X) dX \leq \int_S \frac{1}{A} f(X) dX \quad (9)$$

gdje je S bilo koji drugi oblik.

Da bi se dobio uvid u način određenja oblika s najmanjim troškovima, treba primjetiti da slika 5.1. pokazuje, zajedno s funkcijom $f(X)$ definiranom pomoću (7), da oblik S^* ima slijedeće svojstvo:

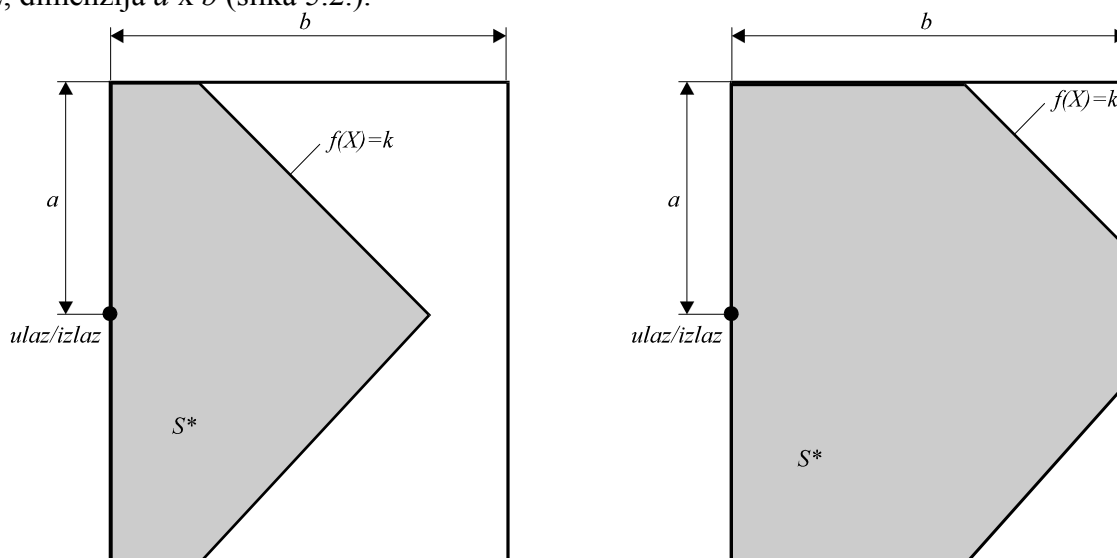
za svaku točku X u S^* , $f(X) \leq k$, gdje je $k = (A)^{1/2}$;
za svaku točku X koja nije u S^* , $f(X) > k$.

Oblik layouta S^* koji zadovoljava nejednakost (9) zove se *oblik najmanjih troškova*. Prema tome može se reći da je S^* skup svih točaka X u L za koje vrijedi $f(X) \leq (A)^{1/2}$, gdje je $f(X)$ definiran pomoću (7). Koristeći uvedenu notaciju, S^* se može matematički zapisati na slijedeći način

$$S^* = \{X \in L : f(x) \leq k\} \quad (10)$$

gdje je, za ovaj slučaj, $k = (A)^{1/2}$.

Oblik konture skladišta dan slikom 5.1. vrijedi za slučaj teorijskog rješenja površine skladišta. U slučaju da se radi o oblikovanju površine u postojećem skladišnom objektu, troškovi izgradnje objekta su već nastali. Prema tome minimalizacija troškova rukovanja materijalom postaje razumljivi cilj. Neka je za ovaj slučaj površina postojećeg objekta dio ravnine označen s L , dimenzija $a \times b$ (slika 5.2.).



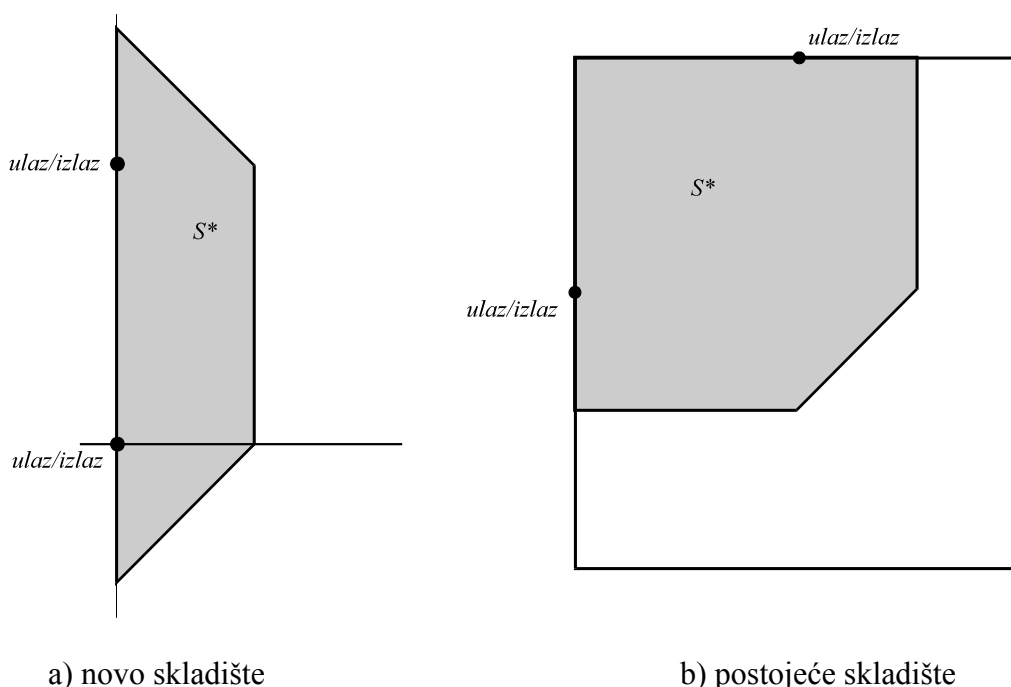
Slika 5.2. Konture skladišne površine postojećeg skladišnog objekta

Traži se oblik S^* površine A u L . Ovisno o dimenzijama objekta, te površini skladišnog prostora moguća su rješenja kao na slici 5.2., gdje se površina od S^* izražava pomoću vrijednosti k , kako slijedi

$$A = \begin{cases} 2 \cdot a \cdot k - (a)^2 & a \leq k \leq b \\ 2 \cdot a \cdot b - (a + b - k)^2 & b \leq k \leq a \cdot b \end{cases} \quad (11)$$

U praksi je uobičajeno da se apriori ne preporuča skladišni objekt oblika trokuta. Dobijeni oblik skladišne zone bazira se na minimalizaciji očekivanog puta. Oblik skladišne površine S^* je *benchmark* rješenje, koje treba koristiti kao pomoć u određivanju konačnog prostornog rasporeda skladišta. Npr., dodavanjem površina za opremu, radnike i druge zone može se oblikovati ukupna površina sa ekonomičnijom konstrukcijom objekta, a da se zadrži oblik optimalne skladišne površine.

Za slučaj više ulaz/izlaza u skladište sličnim se postupkom dolazi do matematičkog izraza s jednostrukim integralom koji određuje oblik s minimalnim troškovima (detaljnije u [28]). Kao rezultat, za slučaj novog odnosno postojećeg skladišta, slika 5.3. prikazuje oblike površine skladišta s minimalnim troškovima za slučaj s dva ulaza/izlaza.



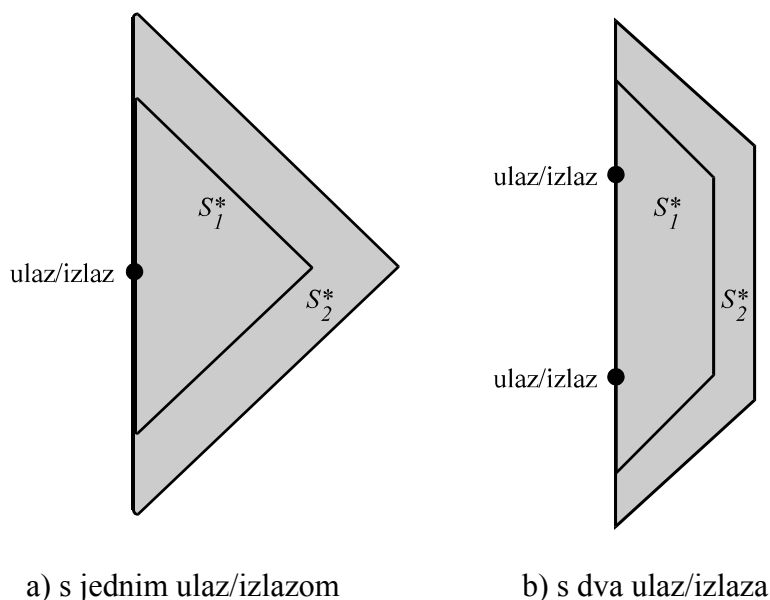
Slika 5.3. Oblici površine skladišta s dva ulaza

Ovdje se nameće pitanje oblikovanja skladišta s više ulaz/izlaza, svaki s protokom T_i , ili s jednim ulaz/izlazom, protoka $\bar{T} = \sum_i T_i$. Za bilo koji oblik površine skladišta postoji lokacija

ulaz/izlaza za koji će ukupni troškovi prijeđenog puta bili manji ili jednaki istom obliku layouta s više ulaz/izlaza [28]. Dakle, ako je izvedba skladišta s jednim ulazom/izlazom realna i veličina protoka ne zahtijeva više ulaza/izlaza, takav oblik layouta biti će s manjim troškovima.

I u slučaju skladištenja više vrsta materijala, matematičko određenje oblika površine skladišta s najmanjim troškovima definira se sličnim postupkom. Slika 5.4. prikazuje oblik površine skladišta za dva različita materijala, za slučaj s jednim odnosno dva ulaza/izlaza. Normalno da se u većini skladišta nalazi veći broj vrsta materijala, odnosno rijetka su skladišta sa samo

jednim ili dva različita materijala. No veliki broj materijala može se podijeliti u dvije, tri ili četiri grupe (najčešće pomoću ABC analize), pa se skladišna zona strukturira u više podzona. *Francis* i *White* razlikuju te materijale, odnosno grupe materijala, prema veličini protoka, te se oblik skladišne zone s minimalnim troškovima određuje prema odnosu protoka i potrebne skladišne površine tog proizvoda. Zapravo se dakle u ovom slučaju određuje oblik površine skladišta za unaprijed određeni raspored skladištenja, dok se razmatranje skladištenja jedne vrste materijala odnosi na slučajni raspored skladištenja.



Slika 5.4. Oblici površine skladišta s dva tipa materijala

Prikazani oblici skladišne površine zahtijevaju objekte skladišta koji se radikalno razlikuju od onih u većini postojećih skladišta. Model je ograničen na izbor oblika koji minimizira troškove rukovanja materijalom, dok troškovi gradnje nisu razmatrani. Jedan dodatan razlog mogu biti otpori kod ljudi za promjenama. Većina popularnih konfiguracija skladišta je pravokutna, metode konstrukcije i gradnje su uspješno standardizirane, pa su radi toga i pravokutne gradnje ekonomičnije [28]. Za takav slučaj poznata su rješenja oblika površine s najmanjim troškovima rukovanja materijalom, kao model proširen s troškovima gradnje i održavanja (detaljnije u [28]).

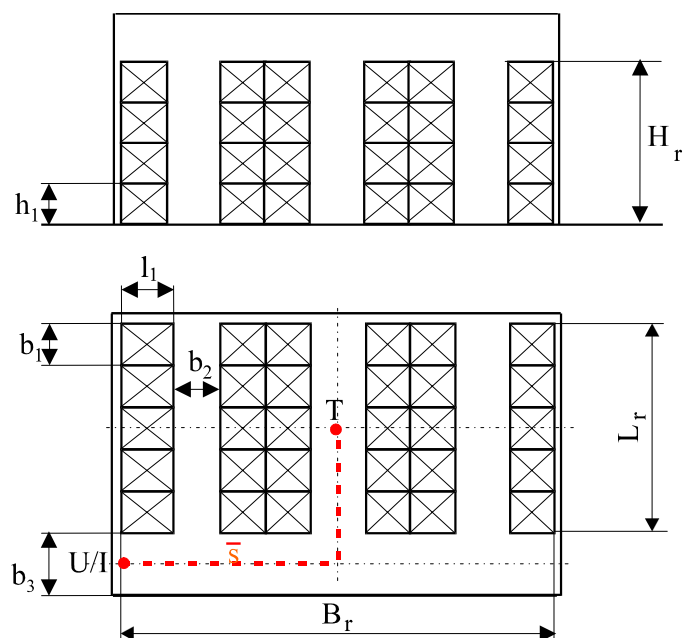
5.1.2. Model optimalnih izmjera

U projektiranju skladišta pravokutnog oblika često se za određivanje osnovnih izmjera skladišne zone koristi model optimiranja prema kriteriju najkraćeg puta [12]. Ovaj model ima polazište u pretpostavkama o položaju ulaza/izlaza, slučajnom rasporedu odlaganja, približno jednakoj frekvenciji ulaza i izlaza svih materijala, kretanju transportnog sredstva u jednoj ravlini, a sve to pak definira položaj težišta T (vidi sliku 5.5. za skladištenje u redovima odnosno 5.6. za skladištenje u bloku).

Da se odredi prostorni raspored skladišne zone, potrebno je odrediti osnovne dimenzije skladišne zone za koje će dobijeni raspored biti optimalan prema kriteriju najkraćeg puta. Za slučaj podnog skladištenja u dvostruke redove prema slici 5.5., duljina reda L_r odnosno širina redova B_r su

$$L_r = \frac{Q \cdot l_1}{2 \cdot n_1 \cdot n_2} \quad (12)$$

$$B_r = n_1 \cdot 2 \cdot b_1 + n_1 \cdot b_2 \quad (13)$$



B_r – širina skladištenja u redove
 L_r – duljina redova
 H_r – visina redova
 $l_1 \times b_1 \times h_1$ – izmjere mjesta za odlaganje
 b_2 – širina glavnih prolaza
 b_3 – širina pomoćnog prolaza
 Q – ukupan broj jedinica skladištenja
 n_1 – broj pomoćnih prolaza (jednak broju dvostrukih redova, gdje dva krajnja jednostruka reda čine jedan dvostruki red)
 n_2 – broj razina po visini
 \bar{s} – prosječna duljina puta
 T – težište
 U/I – ulaz/izlaz
 Napomena: treba razlikovati izmjere $l_1 \times b_1 \times h_1$ mjesta za odlaganje od izmjera jedinice skladištenja $l \times b \times h$

Slika 5.5. Osnovni raspored za skladištenje u dvostrukim redovima

Prosječna duljina puta (za slučaj ulaza/izlaza U/I i težišta T na slici 5.5.) je

$$\bar{s} = \frac{L_r}{2} + \frac{B_r}{2} + \frac{b_3}{2} \quad (14)$$

Nakon uvrštenja (12) i (13) u (14) dobije se funkcija prosječnog puta u ovisnosti o jednoj nepoznatoj varijabli, broju dvostrukih redova n_1 . Iz poznatih uvjeta za minimum funkcije

$$y' = \frac{d\bar{s}}{dn_1} = 0 \quad \text{i} \quad y'' > 0$$

slijedi optimalno rješenje (optimalan broj dvostrukih redova):

$$n_1 = \sqrt{\frac{Q \cdot l_1}{2 \cdot n_2 \cdot (2 \cdot b_1 + b_2)}} \quad (15)$$

Poznavanjem vrijednosti n_1 određuju se teorijska duljina reda pomoću (12), te širina skladištenja u redove pomoću (13).

Za slučaj regalnog skladišta postupak je analogan, s dodatkom izmjera ovisnih o konstrukciji regala.

U slučaju gibanja vozila u dvije osi (visoki redovi, odnosno visokoregalno skladište), sa značajnim vremenom gibanja vozila u vertikalnom smjeru, optimalna duljina redova proizlazi, prema [46] iz odnosa

$$\frac{v_x}{v_y} = \frac{L_r}{n_2 \cdot h_1} \quad (16)$$

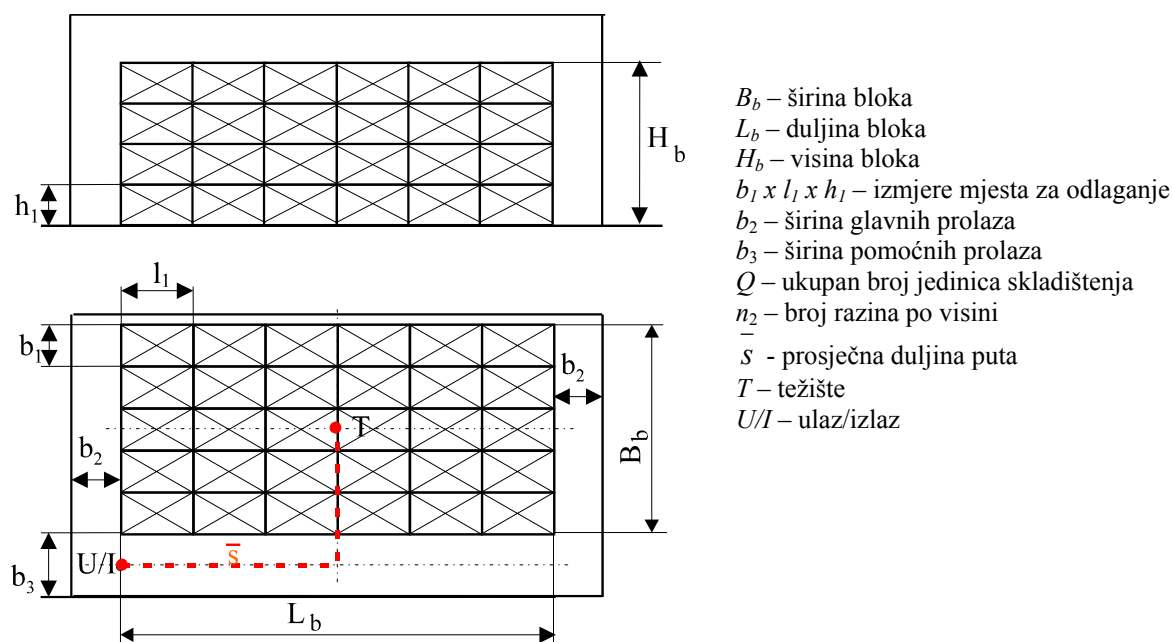
iz čega slijedi

$$L_r = \frac{v_x}{v_y} \cdot n_2 \cdot h_1 \quad (17)$$

te uvrštenjem u (12) slijedi optimalni broj dvostrukih redova

$$n_1 = \frac{Q \cdot l_1 \cdot v_y}{2 \cdot n_2^2 \cdot v_x \cdot h_1} \quad (18)$$

U slučaju skladištenja u bloku, prema slici 5.6., optimalne dimenzije bloka prema kriteriju najkraćeg puta mogu se odrediti postupkom koji slijedi u nastavku.



Slika 5.6. Osnovni raspored za skladištenje u bloku

Ukupna površina za odlaganje jediničnih tereta (A) je

$$A = b_1 \cdot l_1 \cdot Q = B_b \cdot L_b \cdot n_2 \quad (19)$$

Pomoću izraza (19) dobije se ovisnost duljine bloka o širini bloka,

$$L_b \cdot B_b \cdot n_2 = l_1 \cdot b_1 \cdot Q \Rightarrow L_b = \frac{l_1 \cdot b_1 \cdot Q}{B_b \cdot n_2} \quad (20)$$

Prosječna duljina puta je

$$\bar{s} = \frac{L_b}{2} + \frac{b_3}{2} + \frac{B_b}{2} \quad (21)$$

što nakon uvrštavanja (20) prelazi u

$$\bar{s} = \frac{l_1 \cdot b_1 \cdot Q}{2 \cdot B_b \cdot n_2} + \frac{b_3}{2} + \frac{B_b}{2} \quad (22)$$

U ovom slučaju dobije se funkcija prosječnog puta u ovisnosti o širini bloka B_b . Iz poznatih uvjeta za minimum funkcije

$$y' = \frac{d\bar{s}}{dB_b} = 0 \quad \text{i} \quad y'' > 0$$

slijedi optimalna širina bloka

$$B_b = \sqrt{\frac{Q \cdot l_1 \cdot b_1}{n_2}} \quad (23)$$

Duljina bloka odredi se pomoću izraza (20).

Ovaj model vrlo je pogodan za određivanje prostornog rasporeda skladišne zone, ali vrijedi uz ranije navedene uvjete i ograničenja.

Iz opisanih modela za oblikovanja optimalnog prostornog rasporeda skladišne zone vidljiva je ovisnost o odabranom transportnom sustavu (potrebna širina puta), o kojem ovise i dimenzije skladišne zone.

5.1.3. Model optimalne lokacije i strukture skladištenja

Za određivanje oblika zone skladištenja može se koristiti i poznati, općenitiji model za određenje lokacija materijala opisan u *Tompkins et al.* [15]. U tome se modelu koristi slijedeća notacija:

Q = broj mjesta za skladištenje

n = broj vrsta materijala

m = broj ulaz/izlaza

S_j = potreban broj mjesta skladištenja za j -ti materijal

T_j = protok j -tog materijala (u/iz skladišta)

p_i = postotak ukupnog protoka materijala u/iz skladišta kroz i -ti ulaz/izlaz

d_{ik} = udaljenost (ili vrijeme) potrebno za transport materijala od i -tog ulaz/izlaza do k -tog mjesta skladištenja

x_{jk} = varijabla stanja, 1 ako je j -ti materijal dodijeljen k -tom mjestu skladištenja, u suprotnom iznosi 0

Problem određenja prostornog rasporeda temelji se na određivanju optimuma (minimuma) funkcije:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^Q \frac{T_j}{S_j} \sum_{i=1}^m p_i d_{ik} x_{jk} \quad (24)$$

Pretpostavka je da svaka JS nekog j -tog materijala ima jednaku vjerojatnosti transporta od i -tog ulaz/izlaza do mjesta skladištenja dodijeljenog tom materijalu (vjerojatnost iznosi $1/S_j$). U tom slučaju očekivani prijedeni put f_k od k -tog mjesta skladištenja do i -tog ulaz/izlaza iznosi

$$f_k = \sum_{i=1}^m p_i d_{ik} \quad (25)$$

Prema [15] za minimalizaciju ukupnog očekivanog prijednog puta koristi se slijedeći pristup:

1. Klasifikacija i numeriranje materijala prema brojčanoj vrijednosti odnosa T_j/S_j , kako slijedi

$$\frac{T_1}{S_1} \geq \frac{T_2}{S_2} \geq \dots \geq \frac{T_n}{S_n}$$

2. Određivanje vrijednosti f_k za svako mjesto skladištenja.
3. Selekcija i razvrstavanje materijala redoslijedom od 1 do n po mjestima skladištenja od najmanje prema najvećoj vrijednosti f_k .

Iako je ovaj model razvijen za određivanje mjesta skladištenja pri unaprijed određenom skladištenju, može se koristiti i za određivanje optimalnog rasporeda (prema kriteriju najmanjeg očekivanog puta), za bilo koji postupak skladištenja.

U točki 4.3.1.2. navedeni su postupci skladištenja sa svojim prednostima i nedostacima. Evidentno je da se odabir određene politike najčešće treba temeljiti na kriteriju najmanjih troškova. Ovaj model može se iskoristiti i za usporedbu varijanti, ovisno o odabranoj politici skladištenja, ako se odabere kriterij najmanjih troškova transporta. Uz pretpostavku da su troškovi rukovanja materijalom u skladištu linearno proporcionalni očekivanom prijednom putu, za slučaj unaprijed određenog skladištenja mogu se ti troškovi (c_{RMd}) definirati kao

$$c_{RMd} = c \cdot \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^Q \frac{T_j}{S_j} f_k \cdot x_{jk} \quad (26)$$

odnosno, za slučajno skladištenje ti troškovi (c_{RMr}) iznose

$$c_{RMr} = c \cdot \sum_{k=1}^Q \frac{T}{S} f_k \quad (27)$$

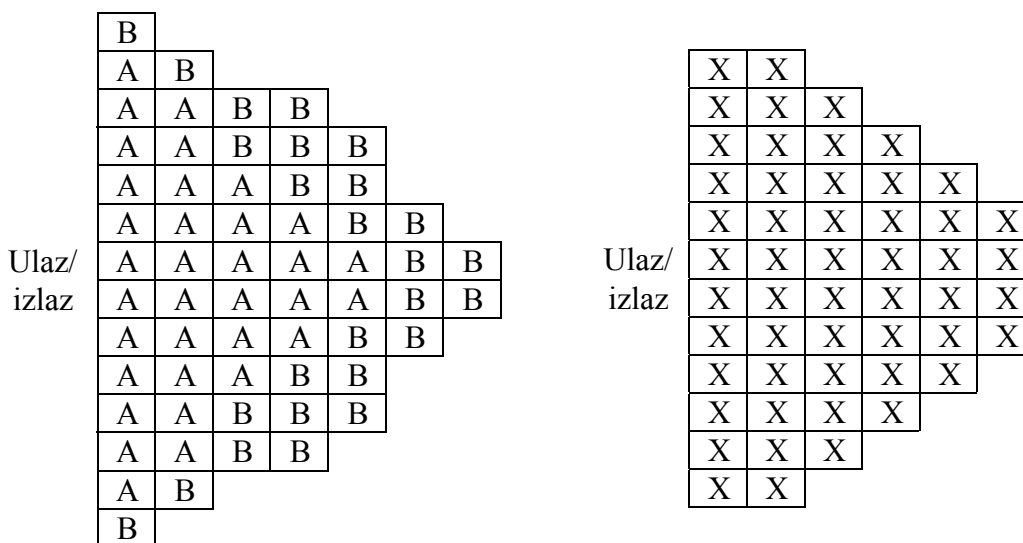
gdje su

c – trošak po jedinici prijeđenog puta,
 T – ukupan protok materijala,
 S – potreban broj mjesta skladištenja svih materijala.

Za ilustraciju uporabe ovog modela iskoristiti će se dio podataka iz tablice 5.1. u točki 4.3.1.2. (samo za proizvode A i B). U slučaju unaprijed određenog skladištenja, potreban broj mjesta skladištenja jednak je sumi pojedinih maksimalnih iznosa zaliha, te iznosi $24+36=60$ JS. Za slučajno skladištenje, potreban broj mjesta skladištenja jednak je maksimalnoj količini zaliha i iznosi 52 JS. Optimalni oblik površine skladištenja za oba slučaja prikazan je na slici 5.7. (oznaka X predstavlja oba proizvoda). Za svaku JS potrebno je jedno polje skladišne zone (površina polja predstavlja površinu same JS uz dio pripadajuće površine za prolaze). Za ovu analizu uzeta je jedinična dimenzija jednog skladišnog polja, a odabran je i jedan ulaz/izlaz u skladište. Troškovi rukovanja materijalom za slučaj unaprijed dodijeljenog skladištenja, prema izrazu (26), odnosno za slučajno skladištenje, prema (27) iznose

$$c_{RMd} = c \cdot \left(\frac{T_A}{S_A} \cdot 80 + \frac{T_B}{S_B} \cdot 232 \right) = c \cdot (3,333 \cdot T_A + 6,444 \cdot T_B) \quad (28)$$

$$c_{RMr} = c \cdot \frac{T_A + T_B}{S} \cdot 252 = c \cdot 4,8461 \cdot (T_A + T_B) \quad (29)$$



Slika 5.7. Optimalni oblik i raspored skladišne zone

Ovisno o iznosima protoka materijala A i B odabire se postupak skladištenja s manjim troškovima rukovanja materijalom. Slika 5.8. prikazuje kvalitativno troškove rukovanja materijalom za oba razmatrana postupka skladištenja, ovisno o odnosu protoka. Kako prikazano rješenje (na slici 5.7.), optimalno s obzirom na troškove rukovanja materijalom, nije uobičajeno u praksi, napravljena je analiza i za optimalan pravokutni oblik, na istom primjeru.

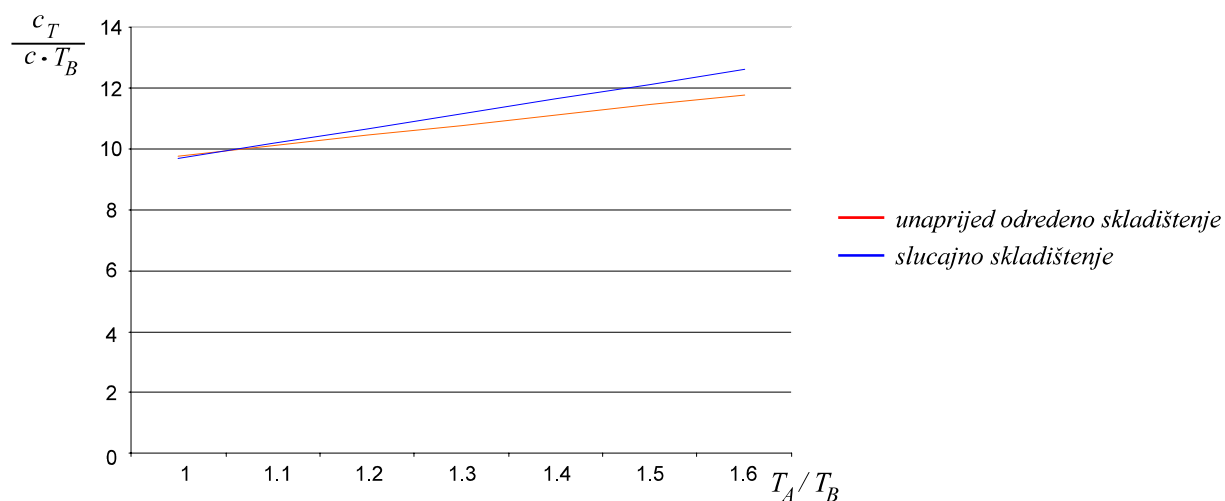
Na slici 5.9. prikazan je prostorni raspored za oba postupka skladištenja. U ovom slučaju troškovi rukovanja materijalom, za slučaj unaprijed dodijeljenog skladištenja prema (26) iznose

$$c_{RMd} = c \cdot \left(\frac{T_A}{S_A} \cdot 80 + \frac{T_B}{S_B} \cdot 250 \right) = c \cdot (3,333 \cdot T_A + 6,944 \cdot T_B) \quad (30)$$

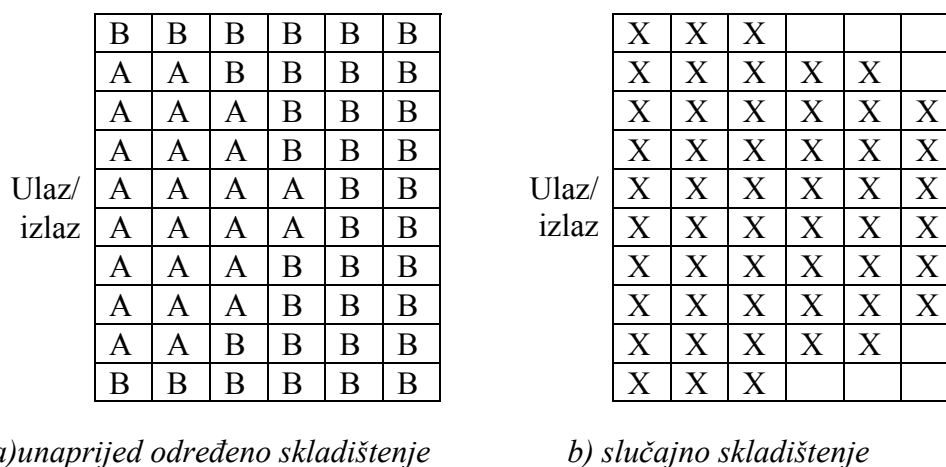
odnosno za slučajno skladištenje prema (27) iznose

$$c_{RMr} = c \cdot \frac{T_A + T_B}{S} \cdot 258 = c \cdot 4,961 \cdot (T_A + T_B) \quad (31)$$

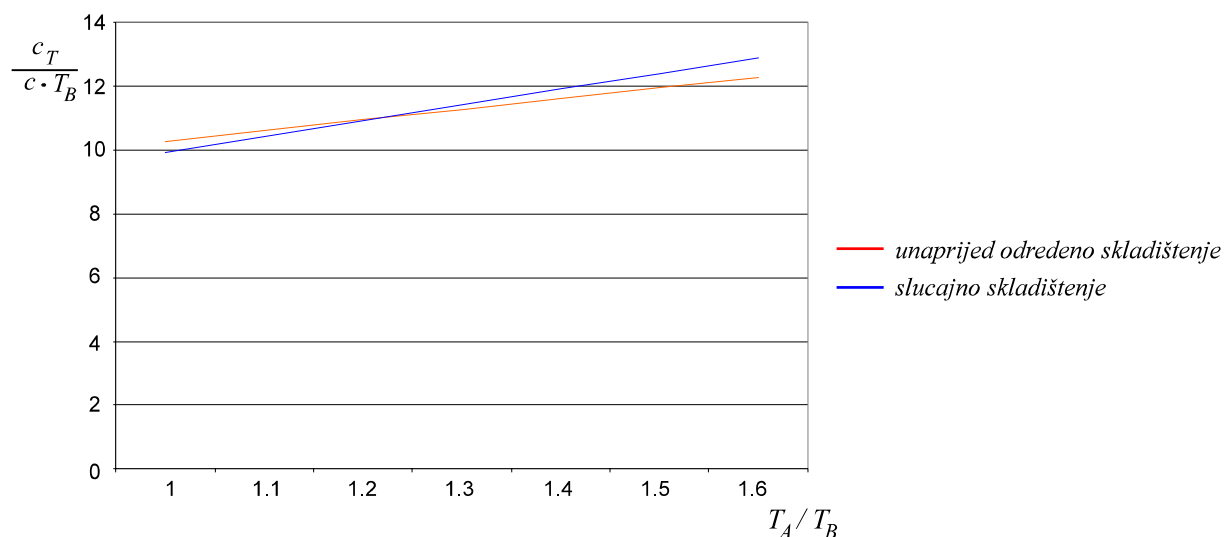
a kvalitativno su prikazani u ovisnosti o odnosu protoka na slici 5.10.



Slika 5.8. Troškovi rukovanja materijalom teorijski optimalnog rasporeda



Slika 5.9. Optimalni pravokutni oblik skladišne zone



Slika 5.10. Troškovi rukovanja materijalom skladišne zone pravokutnog oblika

Iz provedene analize na konkretnom primjeru jasno je da odabir postupka skladištenja (a time i raspored) ovisi o iznosu protoka različitih materijala (klasa materijala), ali i o ograničenjima oblika i dimenzija skladišta, odnosno zone skladištenja. Model koji bi uključio i troškove vezane za izgradnju i održavanje objekta (troškove oblika) možda bi rezultirao oblikom s manjim ukupnim troškovima.

5.1.4. Model ograničenja manjka mjesta odlaganja

Navedeni primjer u točki 5.1.3. je deterministički budući da su poznate potrebe za mjestima odlaganja. No, kako je potreba za skladišnim prostorom najčešće stohastička, zbog nesinhroniziranosti i nestalnosti nabave i potražnje (ulaza u i izlaza iz skladišta) i drugih slučajnih događaja u skladištu, pogodno je odrediti nivo usluge skladišta. Nivo usluge (eng. *service level*) definira se kao vjerojatnost da će doći do manjka slobodnih mjesta odlaganja u skladištu. Prema tome određuje se određeni prag (granična vrijednost) te vjerojatnosti, te je potrebno osigurati broj mjesta odlaganja dovoljno velik da vjerojatnost manjka slobodnih mjesta bude manja od te granične vrijednosti [29]. Model izračunavanja potrebnog skladišnog prostora na bazi nivoa usluge koristi se za sva tri postupka skladištenja. On polazi od poznate funkcije distribucije potrebe za skladišnim prostorom pojedinih proizvoda, te na temelju odabrane granične vrijednosti izračunava ukupnu potrebu za skladišnim prostorom.

Potreba za skladišnim prostorom (brojem mjesta odlaganja) za određeni tip proizvoda može se definirati kao slučajna varijabla d_i sa funkcijom distribucije F_i , a broj mjesta odlaganja dodijeljen tom tipu proizvoda iznosi Q_i . Vjerojatnost da će doći do manjka slobodnih mjesta za i -ti proizvod je $P(d_i > Q_i) = 1 - F_i(Q_i)$. U slučaju unaprijed određenog skladištenja, ako je potreba za skladišnim prostorom za različite proizvode neovisna, vjerojatnost da neće doći do manjka slobodnih mjesta dana je izrazom

$$\bar{P} = \prod_{i=1}^n F_i(Q_i) \quad (32)$$

Vjerojatnost da će doći do manjka slobodnih mjesta odlaganja lako se izračuna pomoću

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n F_i(Q_i) \quad (33)$$

Da se osigura da ta vjerojatnost ne prekorači dozvoljeni prag vjerojatnosti α , nužno je osigurati dovoljno male pragove vjerojatnosti pojedinih tipova proizvoda. Prema tome, ako želimo da je

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n F_i(Q_i) \leq \alpha \quad (34)$$

potrebno je osigurati da je $\prod_{i=1}^n F_i(Q_i) \geq (1 - \alpha)$, što pak implicira da je $F_i(Q_i) \geq (1 - \alpha_i)$, gdje je α_i odabran tako da je $\prod_{i=1}^n (1 - \alpha_i) = (1 - \alpha)$.

Ako se radi o slučajnom skladištenju, za određenje potrebnog skladišnog prostora treba poznavati distribuciju zajedničke potrebe za skladišnim prostorom svih proizvoda. Nakon toga se potreban broj mjesta odlaganja da ne dođe do nestanka slobodnih mjesta određuje uz uvjet $F(Q) \geq (1 - \alpha)$. U slučaju skladištenja po zonama, količina potrebnog skladišnog prostora određuje se na jednak način kao i kod unaprijed određenog, samo što se ovdje umjesto pojedinog tipa proizvoda radi o pojedinoj klasi proizvoda.

S ciljem da se ilustrira određivanje potrebnog broja mjesta odlaganja na bazi nivoa usluge, te utjecaj odabranog postupka skladištenja, može se pretpostaviti da je potreba za mjestima odlaganja za 3 tipa proizvoda zadana podacima u tablici 5.1. ([33]).

Tablica 5.1. Podaci o vrstama i količinama materijala

PERIOD	PROIZVOD			UKUPNO (kom.)
	1.	2.	3.	
I	309	390	296	995
II	287	401	302	990
III	297	400	304	1001
IV	299	430	299	1028
V	300	393	299	992
VI	306	402	303	1011
VII	294	403	305	1002
VIII	299	391	304	994
IX	301	390	299	990
X	320	399	303	1022
XI	300	403	309	1012
XII	295	401	298	994

Da se osigura potreban skladišni prostor na temelju tih podataka, za slučaj dodijeljenog skladištenja potreban broj mjesta odlaganja jednak je sumi maksimalno potrebnih mjesta odlaganja pojedinih tipova proizvoda i iznosi 1059. S postupkom slučajnog skladištenja potreban broj mjesta odlaganja jednak je maksimalnoj ukupnoj količini zaliha, te iznosi 1028. Vidljivo je iz primjera da se kod dodijeljenog skladištenja javlja potreba za većim brojem potrebnih mjesta odlaganja.

U ovom primjeru pretpostavka je da je planirana količina zaliha za proizvode 300, 400 odnosno 300 kom., no zbog stohastičke zakonitosti kretanja stanja zaliha vrijednosti tih zaliha

u pojedinim periodima pojavljuju se blizu te planirane, prosječne vrijednosti. Prema tome, potreba za mjestima odlaganja za te proizvode je normalno distribuirana, sa srednjim vrijednostima i standardnim devijacijama kao u tablici 5.2. (Zbog pojednostavljenja primjera, prvo su se odabrali podaci funkcije distribucije, te su se pomoću simulacijskog programa Taylor II³¹ slučajno odabrale vrijednosti količina zaliha po periodima.)

Tablica 5.2. Statistički parametri

Proizvod	Srednja vrijednost μ_i	Standardna devijacija σ_i	Potreban broj mjesta odlaganja	
			$\mu_i + u\sigma_i$	Q_i
1.	300	10	320,46	321
2.	400	12	424,5	425
3.	300	5	310,2	311

U ovom primjeru za prag vjerojatnosti da neće doći do manjka slobodnih mjesta odlaganja odabrana je vrijednost $\alpha=0,06$. Ako pretpostavimo da su svi proizvodi jednako važni, biti će

$\alpha_i = \hat{\alpha}$ za svaki tip proizvoda. Slijedi iz $\prod_{i=1}^3 (1 - \hat{\alpha}) = (1 - \alpha) = 0,94$, iz čega slijedi $\hat{\alpha} = 0,0345$.

Da se osigura dovoljno prostora potrebno je $\mu_i + u\sigma_i$ mjesta odlaganja za svaki pojedini tip proizvoda. Za $P(u)=0,5-0,0345=0,4655$, vrijednost u očit se iz standardne normalne tablice i iznosi $u=2,0456$. Konačno izračunati potreban broj mjesta odlaganja za svaki tip proizvoda prikazan je u Tablici 5.3. Ukupno potreban broj mjesta odlaganja određen na temelju nivoa usluge za dodijeljeno skladištenje iznosi 1057 mjesta odlaganja.

Ukoliko odaberemo politiku slučajnog skladištenja, zbog neovisnosti potražnje pojedinih tipova proizvoda, ukupna potražnja je normalno distribuirana sa srednjom vrijednošću

$\mu = \sum_{i=1}^3 \mu_i = 1000$ i standardnom devijacijom $\sigma = \left(\sum_{i=1}^3 (\sigma_i)^2 \right)^{1/2} = 16,4$. Da se osigura

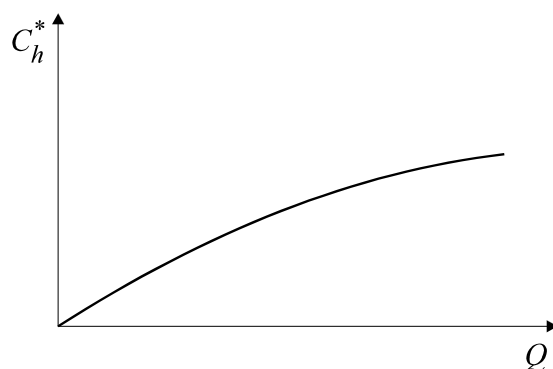
vjerojatnost manjka slobodnih mjesta odlaganja manja od $\alpha=0,06$, potrebno je osigurati $\mu + u\sigma$ mjesta odlaganja. Ako je $u=1,56$ (prema standardnim tablicama), potreban broj mjesta odlaganja iznosi $Q=1026$.

Usporedbom rješenja dolazi se do zaključka da se ovom metodom neznatno smanjio broj potrebnih mjesta odlaganja, i u slučaju unaprijed određenog i u slučaju slučajnog skladištenja. Jasno je da se sa odabranim većim iznosom praga vjerojatnosti dolazi do većeg smanjenja potrebnog broja mjesta odlaganja, no povećava se vjerojatnost da će zbog stohastike doći do manjka slobodnih mjesta odlaganja. Odabir iznosa tog praga treba biti temeljen na kompromisu troškova skladištenja i rukovanja materijalom te troškova nastalih zbog pomanjkanja slobodnih mjesta odlaganja, te se ponovno nameće potreba izgradnje novog i složenijeg modela za oblikovanje skladišta, koji će u sebi sadržavati i model određivanja potrebnog skladišnog prostora na temelju nivoa usluge.

Iz dosadašnjeg razmatranja vidljivo je da se modeli temelje na količini materijala u skladištu (veličini zaliha), pa se nameće zaključak o potrebi razmatranja i funkcije zaliha (ekonomična količina nabave/proizvodnje, sigurnosne zalihe), te uključivanje relevantnih troškova u jedan složeniji model. Troškovi naručivanja i troškovi držanja zaliha mogu znatno utjecati na odabir varijante pri oblikovanju skladišta. Pri određivanju optimalne količine nabave razmatranje se svodi na dvije vrste troškova: troškove naručivanja, koji se smanjuju povećanjem količine nabave, te troškove držanja zaliha, koji rastu povećanjem količine nabave. No porastom

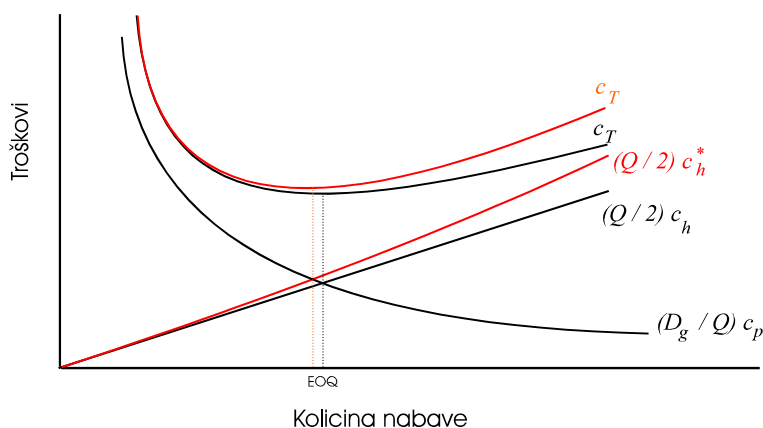
³¹ Taylor II je naziv simulacijskog programa, proizvođača F&H Simulations B.V., Nizozemska

količine nabave troškovi držanja zaliha nisu jedini faktor koji raste. Količina nabave utječe na porast investicijskih troškova vezanih za zemljište, objekat (zgradu) skladišta, opremu itd., a isto tako rastu i jedinični troškovi rukovanja materijalom. Za pojašnjenje navedenog koristi se osnovni model ekonomske količine nabave (vidi točku 4.3.1.1.). Prema tom modelu optimalna količina nabave određuje se traženjem minimuma funkcije ukupnih godišnjih troškova, pomoću izraza (1). U tom izrazu c_p predstavlja trošak naručivanja količine Q , i ne ovisi o obliku skladišta. No, jedinični godišnji trošak držanja zaliha, c_h , predstavlja zbroj kamata na vezana sredstva i troškova skladištenja za jedinicu skladištenja. Veličinu kamatne stope relativno je lako izračunati, no postavlja se problem određenja stope troškova skladištenja [30]. Prema nekim autorima, preporuka je da se troškovi zbog kamata na vezana sredstva udvostruče, čime se obuhvate i jedni i drugi troškovi. Iz navedenog je vidljivo da određenje ekonomske količine nabave daje optimalizaciju s određenim ograničenjima, koja direktno utječe na oblikovanje skladišta. No sam oblik, veličina te oprema u skladištu izravno utječu na troškove skladištenja, što ukazuje na interakciju funkcije zaliha i oblikovanja skladišta, te izgradnje odgovarajućeg modela za optimalizaciju troškova. Pod pretpostavkom da količina nabave predstavlja ujedno i planiranu količinu skladištenja (kapacitet skladišta), lako je zaključiti da jedinični trošak držanja zaliha c_h nije konstanta, već varijabla ovisna o Q , $c_h^* = f(Q)$, što prikazuje kvalitativni graf na slici 5.11.



Slika 5.11. Ovisnost jediničnih troškova držanja zaliha o količini nabave

Uzimanjem u obzir porast troškova držanja zaliha s porastom kapaciteta, odnosno količine nabave, vrijednost optimalne količine nabave prikazane na slici 4.4. pomiče se ulijevo, kao što prikazuje slika 5.12. (nova situacija prikazana crveno).



Slika 5.12. Odnos troškova naručivanja i varijabilnih troškova držanja zaliha

Budući da je u praksi vrlo teško točno odrediti troškove držanja zaliha u fazi oblikovanja skladišta, konačno rješenje biti će teorijski optimum. No kako je graf totalnih troškova osnovnog modela u okolici EOQ s malim nagibom, za Q u rasponu od $\frac{EOQ}{\sqrt{2}}$ do $EOQ \cdot \sqrt{2}$ godišnji troškovi će biti do 6% veći od minimuma, čime se pokrivaju eventualne greške u procjeni stopa troškova [31]. To pak navodi na zaključak da je vrlo uputno razmotriti varijantu skladišta kapaciteta $\frac{EOQ}{\sqrt{2}}$, koja može rezultirati sa značajnije manjim troškovima skladištenja.

5.2. Oblikovanje zone komisioniranja

5.2.1. Empirijski modeli određivanja vremena komisioniranja

Pri oblikovanju skladišta, za proces komisioniranja, nije moguće jednoznačno odrediti ni strukturu niti udjele vremena pojedinih aktivnosti. Uobičajeno je da se tek nakon odabrane varijante, u slučaju izvedenoga rješenja, to vrijeme može dovoljno točno izračunati. Osim toga i pitanje je stvarne potrebe točnog izračunavanja, ili bolje rečeno ekonomske opravdanosti takvog računa (u praksi se radi toga i računa s prosječnim podacima).

Jedan od modela za izračunavanje vremena komisioniranja u kojem se materijal prikuplja, prema Tarnai-u [38], iznosi:

$$T_K = \bar{t}_1 + \bar{t}_2 + \bar{t}_3 + \bar{t}_4 \quad (35)$$

\bar{t}_1 , prosječno vrijeme vožnje, s
 \bar{t}_2 , prosječno vrijeme ručnoga rada, s
 \bar{t}_3 , prosječno vrijeme za rad s podacima, s
 \bar{t}_4 , prosječno dodatno vrijeme, s

Prosječno vrijeme \bar{t}_2 računa se pomoću izraza:

$$\bar{t}_2 = n_c \cdot n \cdot f_1 \quad (36)$$

n_c , prosječan broj pozicija u jednom ciklusu,
 n , prosječan broj jediničnih količina po vrsti materijala,
 f_1 , faktor utjecaja visine dizanja i težine materijala, uzima se prema tablici 5.3.

Tablica 5.3. vrijednosti faktora f_1

Prosječna visina dizanja, m	Faktor f_1	
	Težina tereta < 100 N	Težina tereta > 100 N
< 0,7	0,14	0.17
0,7 – 1,4	0.12	0.18
> 1,4	0.16	0.19

Prosječno vrijeme za rad s podacima, odnosno informacijama iznosi:

$$\overline{t_3} = 0.15 \cdot n_c \quad (37)$$

Učinkovitost komisioniranja određuje se pomoću izraza:

$$k = n_c / T_K \quad (38)$$

Izraz (35) vrijedi za određivanje vremena za jednu prosječnu narudžbu. Izraze (35) do (38) treba načelno prihvatiti, a za svaki konkretan slučaj matematički model nužno je preciznije definirati [39].

Prema modelu za izračunavanje jediničnog vremena komisioniranja, za jednu narudžbu kojom se traži jedan artikl u količini koja je na jednom mjestu odložena u regalu, prema *Gudehus*-u [40], ono iznosi:

$$\overline{t_K} = \overline{t_m} + \overline{t_v} \quad (39)$$

$\overline{t_m}$, prosječno vrijeme mirovanja, s

$\overline{t_v}$, prosječno vrijeme vožnje, s

Prosječno vrijeme mirovanja je:

$$\overline{t_m} = \overline{t_2} + \overline{t_4} + \overline{t_5} \quad (40)$$

$\overline{t_2}$, prosječno vrijeme ručnoga rada (orijentacijski 3 do 6 s za jedan artikl u narudžbi), s

$\overline{t_4}$, prosječno dodatno vrijeme, s

$\overline{t_5}$, prosječno pripremno vrijeme po mjestu odlaganja - lokaciji (10 do 15 s za lokaciju), s

Ukupno prosječno vrijeme komisioniranja za jedan skup od x_1 narudžbi iznosi:

$$T_K = x_1 \cdot (\overline{t_2} \cdot x_2 + \overline{t_5} + \overline{t_v}) \cdot x_3 + \overline{t_4} \quad (41)$$

x_1 , prosječan broj narudžbi u jednom skupu,

x_2 , prosječan broj artikala koji se izuzimaju s jednog mjesta odlaganja - lokaciji u regalu,

x_3 , prosječan broj lokacija za sve narudžbe u skupu.

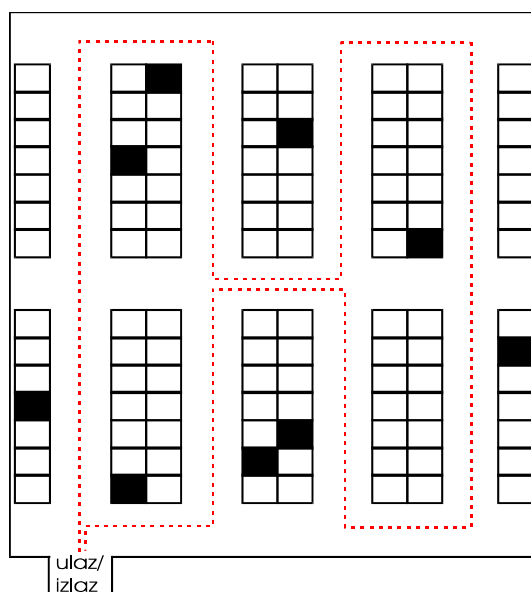
U relacijama (39) i (41) vrijeme gibanja zavisi o tome da li je komisioniranje jednodimenzionalno ili dvodimenzionalno, te o redoslijedu prikupljanja.

5.2.2. Metode određivanja optimalnog puta komisioniranja

U točki 4.4.1.1. spomenju su postupci izbora puta komisioniranja kao mogućnost minimizacije prijednog puta pri komisioniranju (a time i vremena komisioniranja), čime bi se smanjili troškovi. Određivanje optimalnog puta komisioniranja (rute) vrlo je složeno, te se put komisioniranja uglavnom određuje pomoću heurističkih metoda koje rezultiraju približno

optimalnim rješenjima. Naime, prvi efikasan algoritam za određivanje najkraće rute razvili su *Ratliff* i *Rosenthal* [25], no on je ograničen na tzv. osnovni prostorni raspored skladišta (raspored sa paralelnim redovima odnosno prolazima između redova, jednim ulaz/izlazom i dva pomoćna prolaza na početku i kraju redova). U praksi često nije takav slučaj (postoji tri ili više pomoćnih prolaza, što čini blokove redova), pa se problem određenja rute komisioniranja u skladištu uglavnom rješava pomoću heurističkih metoda.

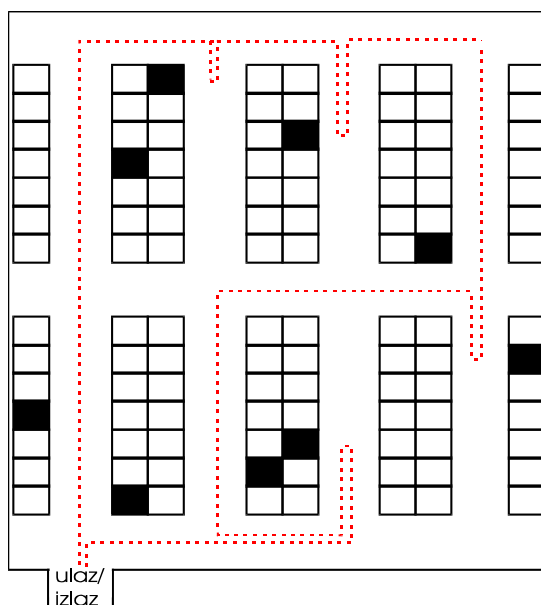
Jedna od najčešće korištenih metoda je tzv. “S – prolaz” (eng. *S-shape*) heuristička metoda [1]. U literaturi se za tu metodu koristi također i naziv “transverzalna” (eng. *transversal*) metoda [24]. U osnovi, svaki prolaz u kojem se nalazi barem jedna JS iz narudžbe prolazi se cijelom duljinom, dok se prolazi u kojima nema barem jedne JS iz narudžbe izbjegavaju. U slučaju više pomoćnih prolaza (blokova redova), metoda je slična. Komisioner kreće od ulaza (početne pozicije komisioniranja) te dolazi do početka glavnog prolaza najbliže toj točki, koji sadrži barem jednu JS iz narudžbe. Taj glavni prolazi se do uključujući najdalji blok koji sadrži barem jednu JS. Zatim se prikupljaju JS u tom bloku na način da se putuje kroz prolaze koji sadržavaju barem jednu JS cijelom duljinom. Cijela procedura ponavlja se za svaki blok, te je nakon posljednjeg bloka povratak na početnu točku (izlaz). Kao primjer, za jedno odabrano skladište, put komisioniranja za jednu slučajnu narudžbu prikazan je na slici 5.13. (crno su označena mjesta sa kojih treba prikupiti materijal iz narudžbe).



Slika 5.13. Put komisioniranja “S-prolaz” heurističkom metodom

Osim navedene, iz grupe heurističkih metoda često je u uporabi metoda “najvećeg prolaza” (eng. *Largest Gap*). Komisioner kreće od ulaza te ide do početka glavnog prolaza koji je najbliži ulazu, a sadrži barem jednu JS iz narudžbe, te putuje do najdaljeg bloka koji sadrži barem jednu JS. Kretanjem duž pomoćnog prolaza, ulazi u svaki glavni prolaz koji sadrži JS iz narudžbe, ali samo do tzv. “najvećeg prolaza” te izlazi iz njega na istoj strani. “Najveći prolaz” predstavlja dio prolaza kroz koji komisioner ne prolazi (vidi sliku 5.14.). Posljednji prolaz komisioner prođe u cjelosti, te se postupak ponavlja. Kada se komisioner nalazi u pomoćnom prolazu između dva bloka, prvo se prikupljaju JS iz jednog bloka, a zatim iz drugog. Nakon zadnjeg bloka slijedi povratak do početne točke, odnosno izlaza. Slika 5.14. prikazuje put komisioniranja pomoću te metode za isti spomenuti primjer.

Dvije jednostavnije heurističke metode koje se također mogu naći u nekim skladištima su metoda povratka (eng. *return method*) i metoda središnje točke (eng. *midpoint method*). Kod metode povratka komisioner uvijek ulazi u glavni prolaz s prednje strane, te napušta prolaz s iste strane. Takva metoda vrlo je pogodna za skladišta sa samo jednim pomoćnim prolazom, no u ostalim slučajevima ostale metode pokazuju se boljima [24]. Po metodi središnje točke, zona komisioniranja se dijeli na dvije polovine. Do JS u prednjoj polovini komisioner dolazi iz prednjeg glavnog prolaza, a do JS u stražnjoj polovini iz stražnjeg pomoćnog prolaza. Samo kroz prvi i zadnji glavni prolaz komisioner prolazi u cijelosti.



Slika 5.13. Put komisioniranja metodom “najvećeg prolaza”

Vaughan i Petersen [26] razvili su još jednu heurističku metodu (nazvanu “prolaz po prolaz”, eng. *aisle-by-aisle*). U osnovi, svaki glavni prolaz komisioner prođe samo jednom, i to u cijelosti. Nakon što su prikupljene sve JS iz narudžbe u tom prolazu, prelazi se kroz pomoćni prolaz u slijedeći glavni prolaz. Koji pomoćni prolaz se koristi za prelazak iz jednog u drugi glavni prolaz određuje se minimizacijom prijednog puta (o toj metodi detaljnije u [26]).

Petersen i Schmenner [50] također su razvili jednu heurističku metodu, nazvanu kompozitna metoda (eng. *composite method*). Ona je kombinacija “S-prolaz” metode i metode povratka, gdje se za svaki glavni prolaz određuje da li će biti pređen u cijelosti ili po metodi povratka (o toj metodi detaljnije u [50]).

Kombinirana heuristička metoda (eng. *combined method*), razvijena na bazi “S-prolaz” i “najveći prolaz” metoda, rezultira rutom komisioniranja kojom se svaki prolaz koji sadrži barem jednu JS iz narudžbe posjeti samo jednom. Komisioner kreće od ulaza i ide do početka glavnog prolaza najbližeg ulazu, koji sadrži barem jednu JS. Zatim putuje tim prolazom do najdaljeg bloka koji sadrži barem jednu JS. Put komisioniranja po svakom bloku određen je algoritmom na bazi dinamičkog programiranja. Prelazak iz bloka u blok je takav da se minimizira put prolaza kroz pomoćni prolaz. Nakon obavljenog komisioniranja u posljednjem bloku slijedi povratak do ulaza/izlaza. Detaljniji opis ove metode u Roodbergen i DeKoster [23]. Na slici 5.15. prikazan je put komisioniranja za opisani primjer dobijen pomoću ove heurističke metode.

Razlog postojanja više pomoćnih prolaza u skladištu s paralelnim redovima leži u smanjenju potrebnog puta komisioniranja. No takav oblik skladišta zahtijeva nešto veću površinu, pa se postavlja pitanje koliko je smanjenje puta komisioniranja uvođenjem više pomoćnih prolaza, odnosno opravdanost takovih skladišta. *Roodbergen* i *DeKoster* [27] napravili su istraživanje o ovisnosti vremena komisioniranja i veličine skladišta, prostornom rasporedu skladišta i veličini narudžbe. Za skladišta sa 3 i više glavnih prolaza, izvedba s trećim pomoćnim prolazom u sredini daje uštedu u odnosu na osnovni prostorni raspored. Istraživanje ovisnosti vremena komisioniranja i veličine narudžbe, za navedene dvije izvedbe, rezultiralo je zaključkom da za veća skladišta izvedba s pomoćnim prolazom u sredini donosi uštedu u vremenu komisioniranja za do 15%, za više od jedne JS po narudžbi. No u slučaju manjih skladišta (manje glavnih prolaza i manja duljina redova), ušteta s izvedbom skladišta s pomoćnim prolazom u sredini ostvaruje se u slučaju manjeg broja JS po narudžbi (za konkretan primjer iz istraživanja, od 3 do 22 JS po narudžbi), dok u slučaju većeg broja JS u narudžbi komisioner ionako mora u većini slučajeva proći sve prolaze, pa nema uštede optimalizacijom rute, dok se zbog prolaska kroz pomoćni prolaz u sredini put komisioniranja čak i povećava. No, spomenuti autori zaključuju da za većinu praktičnih veličina narudžbi korištenje pomoćnog prolaza u sredini donosi uštedu na vremenu komisioniranja, posebice u većim skladištima.

³² Na detaljan opis tog algoritma *Roodbergen* i *DeKoster* [23] upućuju na rad Little et al. (1963), An algorithm for the traveling salesman problem, *Operation Research* 32, 837-846.

5.2.3. Analiza metoda u komisioniranju

Nakon istraživanja i analize u prethodnim točkama postavlja se pitanje koji će prostorni raspored zone komisioniranja, s obzirom na broj pomoćnih prolaza, za pojedino skladište omogućiti smanjenje vremena komisioniranja odabirom određene metode routinga? Također, koliko će u tim slučajevima odabir određene metode routinga imati utjecaj na vrijeme komisioniranja?

U praksi postoje dva tipa skladišta s obzirom na širinu glavnih prolaza, skladišta s širokim i uskim prolazima (eng. *wide-aisle* i *narrow-aisle warehouses*). Kao skladišta s širokim prolazima podrazumjevaju se ona skladišta kod kojih vozilo za komisioniranje ne može izuzeti JS iz regala s obje strane glavnog prolaza bez promjene pozicije, i za takva skladišta razmatranje routing politika je vrlo značajno [23]³³.

Za skladišta s uskim prolazima, *Roodbergen* i *DeKoster* [23] napravili su istraživanje za dva najčešća tipa sustava komisioniranja. U paletnim skladištima, s relativno većim JS manjeg protoka, sustav za komisioniranje čine vozila za komisioniranje³⁴, za koja su navedeni autori u istraživanju uzeli pretpostavke o različitim brzinama kretanja vozila u glavnim, odnosno pomoćnim prolazima, uz postojanje dodatnog vremena za promjenu glavnog prolaza. U poličnim skladištima, gdje su uglavnom uskladištene manje JS, čovjek komisioner s kolicima prolazi kroz zonu komisioniranja i obavlja prikupljanje materijala prema narudžbi³⁵. Za takav tip komisioniranja pretpostavlja se jedinstvena brzina kretanja komisionera unutar zone komisioniranja, bez potrebe dodatnog vremena za promjenu glavnog prolaza.

Provedeno istraživanje dovelo je do vrlo interesantnih i vrijednih spoznaja za oba razmatrana tipa sustava komisioniranja. Za odabrano manje paletno skladište, s manje JS po narudžbi, istraživanje je pokazalo da se korištenjem među-pomoćnih prolaza ne smanjuje vrijeme komisioniranja (zbog potrebe dodatnog vremena za promjenu glavnog prolaza), već se to vrijeme čak i povećava. Za takva skladišta također nema razlika u vremenu komisioniranja s obzirom na odabranu metodu routinga. U slučaju odabranog većeg skladišta, s više JS po narudžbi, vrijeme komisioniranja smanjeno je za skladište s jednim ili dva među pomoćna prolaza u odnosu na skladište s osnovni prostornim rasporedom, no za slučajeve s tri i više među pomoćnih prolaza, vrijeme komisioniranja ponovno raste. U takvim skladištima i uporaba određene metode routinga ima utjecaj na vrijeme komisioniranja. Otprije je bilo poznato da metoda “najvećeg prolaza” daje bolje rezultate od “S-prolaz” metode za osnovni prostorni raspored, ukoliko je prosječni broj JS iz narudžbe po prolazu manji od 3,8. U ovom slučaju prosječan broj JS po prolazu bio je 1,5, i ta spoznaja se i potvrdila. No, u slučajevima u kojima je smanjeno vrijeme komisioniranja u odnosu na osnovni prostorni raspored, kombinirana metoda pokazala se kao najbolja heuristička metoda. No, uporaba optimalnog algoritma dala je značajno bolje rezultate od svih heurističkih metoda.

Iz dobijenih rezultata spoznalo se da postoji veza između veličine skladišta i potrebe za među-pomoćnim prolazima. Daljnje istraživanje pokazalo je da se samo u velikim skladištima (s umnoškom duljine glavnog prolaza i broja glavnih prolaza većim od 500) može smanjiti vrijeme komisioniranja oblikovanjem prostornog rasporeda s jednim među pomoćnim prolazom. Ukoliko se radi o paletnim skladištima, to su skladišta s više od 1000 paleta po razini. Kako je takvih skladišta relativno malo, za većinu skladišta nema smisla postojanje među pomoćnog prolaza [23]. U slučaju poličnih skladišta, vrijeme komisioniranja u

³³ Za detaljniji uvid *Roodbergen* i *DeKoster* [23] upućuju na rad: Goetschalachx, M. i Ratliff, H.D. (1988), Orderpicking in an aisle, *IIE Transactions* 20(1), 53-62.

³⁴ U literaturi se takova skladišta nazivaju eng. *narrow-aisle high-bay pallet warehouses*

³⁵ U literaturi se takova skladišta nazivaju eng. *narrow-aisle shelf-area warehouses*

skladištima s među pomoćnim prolazima manje je od skladišta s osnovnim layoutom, osim u slučaju s relativno malim skladištima s mnogo JS po narudžbi. Metoda “najvećeg prolaza” ponovno se pokazala kao najbolja heuristička metoda samo za osnovni prostorni raspored, dok je u slučaju skladišta s među pomoćnim prolazima najbolje rezultate dala nova kombinirana heuristička metoda. Vrijeme komisioniranja se uporabom jednog među pomoćnog prolaza smanjuje za otprilike 15%, no uporabom više među pomoćnih prolaza ono uglavnom ostaje isto.

Ovdje se postavlja logično pitanje zašto razmatrati i koristiti heurističke metode kad su razvijeni optimalni algoritmi koji rezultiraju najmanjim vremenom komisioniranja. Put komisioniranja određen optimalnim algoritmom može dovesti do grešaka zbog zbunjenosti komisionera, potreba za adekvatnim računalom poskupljuje proces, a heurističke metode u većini slučajeva rezultiraju približno optimalnim rješenjima [24].

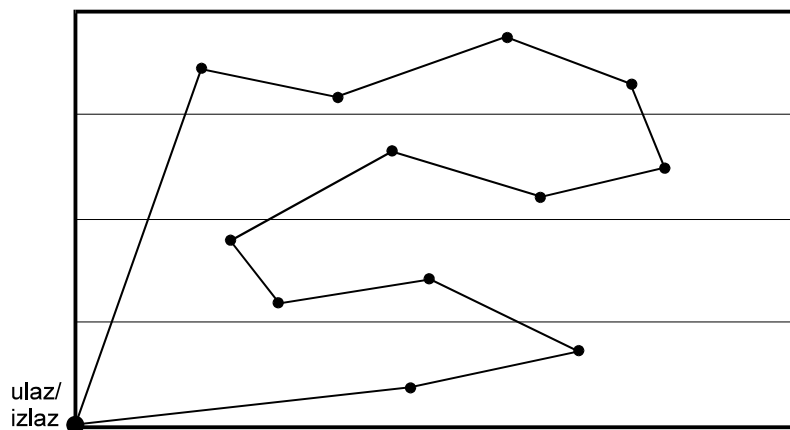
Uporaba među-pomoćnih prolaza će u određenim situacijama donijeti uštedu u vremenu komisioniranja, no to također povećava investicijske troškove, zahtijeva veću površinu skladišta, te se odluka o prostornom rasporedu s među pomoćnim prolazima mora donijeti nakon detaljnog razmatranja. Također, provedeno istraživanje temeljilo se na postupku slučajnog skladištenja. Korištenjem unaprijed dodijeljenog skladištenja ili skladištenja po zonama, uštede u vremenu kretanja komisionera mogu doseći do 40%. Pri tome je najbolje JS s najvećim protokom skladištiti u regale s prolazima najbliže ulaz/izlazu [24].

Također, koja kombinacija broja glavnih prolaza i duljine reda daje najmanje vrijeme komisioniranja, te koliko takav raspored odstupa od optimalnog rasporeda dobivenog prema kriteriju najmanjih troškova rukovanja materijalom za odlaganje, te troškova gradnje, također utječe na odluku o odabiru prostornog rasporeda. Ukoliko se ulaz/izlaz nalazi u sredini, a ne u kutu skladišta, vrijeme kretanja komisionera smanjuje se za 1% kod slučajnog rasporeda, odnosno do 4% za unaprijed dodijeljeno skladištenje ili skladištenje po zonama. Također, skladišta s manje duljih redova pokazuju se bolja od skladišta s više kraćih redova jednakog kapaciteta³⁶. Konačno, vrlo malo istraživanja je napravljeno za slučaj decentraliziranog odlaganja, kod kojeg komisioner nakon posljednje prikupljene JS iz narudžbe odlaže materijal na kraju prolaza [24]. Očito je da se vrijeme komisioniranja nešto smanjuje u odnosu na centralizirano komisioniranje, no to neophodno iziskuje vezu komisionera s centralnim upravljačkim sustavom pomoću radio frekvencije, što poskupljuje sustav. Na ovom mjestu ponovno se može naglasiti nužnost integracije različitih modela i metoda za oblikovanje skladišta, jer se decentralizirano komisioniranje koristi najčešće u automatiziranim distribucijskim skladištima sa sustavom za sortiranje (vidi sliku 4.9.). Da se minimizira ukupno vrijeme komisioniranja i sortiranja, potrebna je postupke komisioniranja i sortiranja promatrati zajedno. Kako je vrlo složeno točno predvidjeti koje će odabrane metode dati najbolje rezultate u određenim situacijama, pri projektiranju novog ili poboljšanju postojećeg skladišta korisno je napraviti simulacijske eksperimente za svaku moguću varijantu. No pritom je potrebno biti svjestan da takvi simulacijski programi zahtijevaju značajan utrošak vremena i novca, bez garancije da će dovesti do poboljšanja [24].

U visokoregalnim skladištima (u literaturi su to najčešće automatizirani skladišni sustavi, te se nazivaju eng. *automated storage and retrieval system*, *AS/RS*), kod kojih se i kretanje visokoregalnog viličara (eng. *S/R machine*) mora uzeti u obzir, za određivanje puta i vremena komisioniranja koriste se određene metode i modeli. Za jedan visokoregalni viličar u prolazu regala, koji treba komisionirati određeni broj JS u regalu, određivanje optimalnog puta

³⁶ Na detaljniji uvid Roodbergen i Petersen [24] upućuju na Petersen, C.G. (1997), An evaluation of order picking routing policies, *International Journal of Operations and Production Management*, 17 (11), 1098-1111

komisioniranja je složeno [15]. Zbog toga su razvijene mnoge heurističke metode, koje, empirijski dokazano, daju približno optimalna rješenja za 3 do 24 JS po jednom ciklusu komisioniranja. Jedna od najčešćih heurističkih metoda je tzv. “band” heuristika. Regal se podijeli u parni broj traka (eng. *band*) jednakih veličina, te visokoregalni viličar obavlja komisioniranje traku po traku uzduž x -osi, krećući se “cik-cak” uzduž trake, kao što pokazuje slika 5.16.



Slika 5.16. Komisioniranje u visokom regalu po “band” heurističkoj metodi

Prema *Tompkins et al.* [15], očekivano vrijeme vožnje pri komisioniranju može se procijeniti pomoću izraza

$$\bar{t}_v \approx t_{\max} \cdot \left[\frac{2 \cdot n_c}{(n_c + 1)} + 0,114703 \cdot n_c \cdot \sqrt{FO} - 0,074257 - 0,041603 \cdot n_c + 0,459298 \cdot FO^2 \right] \quad (42)$$

gdje su

FO - faktor oblika, definiran kao $FO = \min(t_h/t_{\max}, t_v/t_{\max})$,

t_{\max} - faktor mjere, definiran kao dulja strana regala u vremenskoj jedinici,

$t_{\max} = \max(t_h, t_v)$, gdje su t_h i t_v vremena puta visokoregalnog viličara uzduž regala po cijeloj duljini, odnosno visini,

n_c - broj lokacija odnosno JS u jednom ciklusu komisioniranja.

Iz opisa modela za oblikovanje komisioniranja vidljiva je izravna ovisnost tih modela o transportnim sredstvima. Također, ukoliko se komisioniranje obavlja u skladišnoj zoni, očita je međuzavisnost modela oblikovanja skladišne zone i modela oblikovanja komisioniranja.

5.3. Određivanja vremena radnih ciklusa i protoka

U točki 5.2. raspravljalo se o vremenu za komisioniranje, dok se u nastavku analiziraju ciklusi bez obzira na pripadnost skladišnom podprocesu.

Za sve procese unutar nekog logističkog lanca tijekom pojedinih resursa (materijal, informacije, energija...) trebaju biti racionalni i dinamički uravnoteženi. Pri oblikovanju skladišnog sustava, kao dijela logističkog lanca, odnosno transportnog sustava kao podsustava skladišnog sustava, transportni sustav treba biti projektiran tako da ima potreban kapacitet, tj.

da u svim podprocesima poslovnog procesa preveze sav materijal. Mjera za to je protok (maseni, obujamni, komadni), za kojeg je brzina prijevoza materijala najvažnija varijabla. Zadaci prijevoza unutar jednog poslovnog procesa mogu se, u ovisnosti o tipu strukture tijeka materijala, razvrstati u dvije grupe [43]:

- 1) Skup aktivnosti koje se ne ponavljaju često i ne istim redoslijedom, te kod kojih transportni putevi koji se koriste tijekom prijevoza ne oblikuju kružne, zatvorene relacije. U takvom slučaju se radi o nizu aktivnosti za koje je *ukupno vrijeme rada* odgovarajući parametar. Takvi su slučajevi česti u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji, te kod transportnih sredstava za neprekidni tijek materijala.
- 2) Skup aktivnosti koji se ciklički ponavljaju unutar određenog broja polazišta i odredišta, te oblikuju transportni put kao zatvorene relacije. Takav je slučaj čest kod serijske i velikoserijske proizvodnje, u automatiziranim procesima, te kod transportnih sredstava za prekidne tijek materijala. Pri tome je *vrijeme trajanja radnog ciklusa* odgovarajući parametar.

Ukupno vrijeme rada pri izvršenju zadataka transporta jednostavnije se određuje kod transportnih sredstava za neprekidne tokove nego kod sredstava za prekidni tijek. Taj se parametar određuje matematičkim modelima ili metodama simulacije. Među poznatijim modelima kod neprekidnog tijeka materijala su i relacije za obujamni protok: $q_v = A \cdot v$; m³/s, maseni protok: $q_m = q_v \cdot \rho$; kg/s, te za komadni protok: $q_k = v / x$; kom./s (A - površina presjeka materijala, v - brzina, ρ - nasipna gustoća, x - razmak materijala). Kod prekidnog tijeka materijala maseni protok (ponekad se naziva i kapacitet) iznosi: $q_m = m / t_c$; kg/s (m - masa materijala, t_c - vrijeme radnog ciklusa).

Trajanje radnog ciklusa t_{cg} može se za slučaj transporta *mosnim granikom* odrediti uz pomoć relacije

$$t_{cg} = t_u + \sum_i t_{ci} + \sum_j t_{cj} + t_i + t_d \quad (43)$$

U izrazu (43) oznake su: t_u -vrijeme utovara, t_{ci} - vremena pune vožnje, t_{cj} - vremena prazne vožnje, t_i -vrijeme istovara i t_d - dodatno vrijeme.

Na istoj osnovi može se odrediti vrijeme (t_{cv}) prijevoza materijala *podnim viličarem*, kao

$$t_{cv} = t_u + \sum_i t_{ci} + \sum_j t_{cj} + \sum_k t_{ck} + \sum_m t_{cm} + t_i + t_d \quad (44)$$

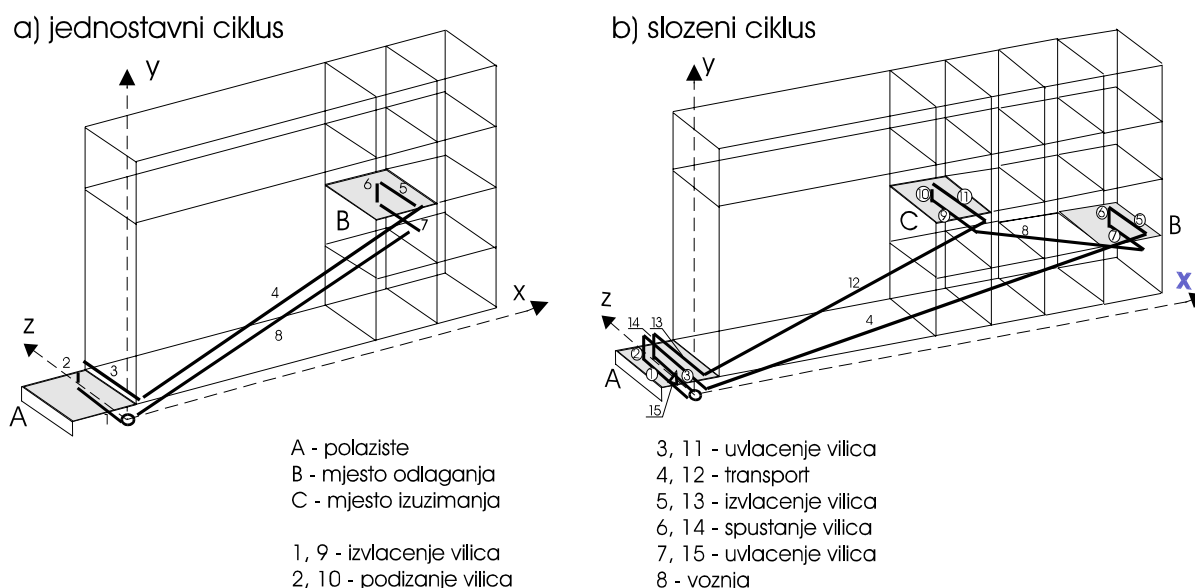
U izrazu (44) oznake su: t_u -vrijeme utovara, t_{ci} - vremena pune vožnje, t_{cj} - vremena prazne vožnje, t_{ck} - vremena pune vožnje u zavojima, t_{cm} - vremena prazne vožnje u zavojima, t_i - vrijeme istovara i t_d - dodatno vrijeme.

Jasno je da spomenuta vremena ovise o značajkama odabranog transportnog sredstva (brzine, ubrzanja,...), ali i o putevima, koji su izravno rezultat modela oblikovanja prostornog rasporeda zone skladištenja, odnosno komisioniranja.

5.3.1. Model određivanja radnog ciklusa visokoregalnih viličara

U analizi radnih ciklusa visokoregalnih viličara potrebno je uzeti u obzir kretanje vozila u dva smjera: horizontalnom i vertikalnom. Zbog toga je određivanje vremena radnog ciklusa otežano, te se za isto koriste određeni modeli s pretpostavkama. Jedan od modela za određivanje prosječnog vremena radnog ciklusa visokoregalnog viličara dan je od Mertensa [44]. Taj model temelji se na slijedećim pretpostavkama:

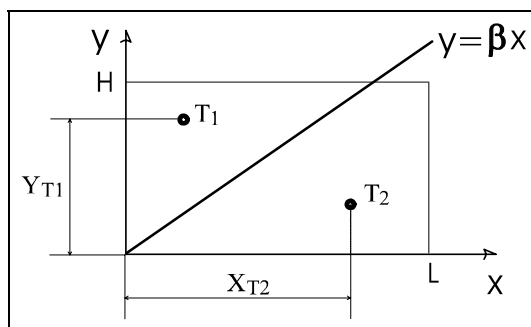
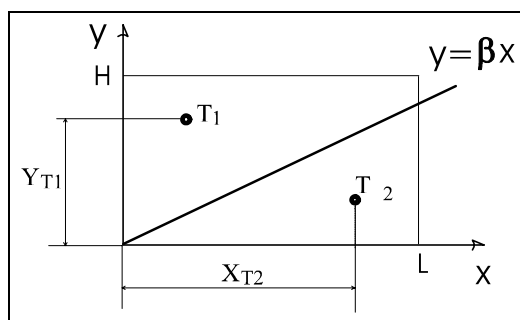
- skladišni sustav sadrži jedan jednostruki polični regal, jedan visokoregalni viličar i jedan pretovarni stol na početku regala,
- ulaz - izlaz jedinica skladištenja u regal ima iste koordinate,
- radni ciklusi strukturirani su prema slici 5.17.
- u svakom prijevozu jedna je jedinica skladištenja, a isto tako na svakoj se polici regala nalazi jedna jedinica skladištenja,
- sve jedinice skladištenja imaju jednaku učestalost ulaza i izlaza,
- raspoloživa površina regala popunjena je 100%,
- iste su brzine gibanja punog i praznog vozila i u svim točkama površine regala (nema podjela na zone prema brzinama gibanja),
- brzine gibanja vozila između dviju polica jednake su i konstantne bez obzira na njihovu udaljenost,
- u složenim ciklusima nema optimalizacije izbora puteva gibanja,
- pri izravnom rukovanju jedinicom skladištenja, ubrzanja i usporjenja su konstantna.



Slika 5.17. Struktura radnih ciklusa visokoregalnih viličara

Kretanje visokoregalnog viličara predočava se u pravokutnom koordinatnom sustavu. Vožnja vozila putem duž regala je u smjeru osi x , dizanje i spuštanje vozila je vožnja u smjeru osi y , dok je u smjeru osi z izvlačenje i uvlačenje teleskopskih vilica. Jedan visoki regal visokoregalnog skladišta, visine H i duljine L , predstavlja se u ravnini x - y kao površina $P = H \cdot L$. Istovremeno gibanje visokoregalnog viličara u horizontalnom smjeru brzinom v_x i u vertikalnom smjeru brzinom v_y ostvaruje se po pravcu $y = \beta \cdot x$, gdje je koeficijent smjera

tog pravca $\beta = \frac{v_y}{v_x}$. Taj pravac dijeli površinu regala na dva dijela, P_1 i P_2 . Promatrajući na površini P_1 jedno mjesto sa koordinatom y_1 na y-osi, vrijeme vožnje vozila od ishodišta do tog mjesta ovisi samo o brzini v_y i iznosi $t' = \frac{y_1}{v_y}$. To vrijeme je jednako za sva mjesta sa koordinatom y_1 na površini P_1 . Analogno vrijedi za površinu P_2 , odnosno vremena vožnje do svih mjesta s koordinatom x_1 na apscisi su jednaka i iznose $t'' = \frac{x_1}{v_x}$. Kako su brzine v_x i v_y nepromjenjive vrijednosti, određene transportnim sredstvom, vrijeme dolaska do mjesta u regalu ovisi o koordinatama y_1 i x_1 .

Slika 5.18. Slučaj $\beta > H/L$ Slika 5.19. Slučaj $\beta < H/L$

Pri projektiranju skladišta važno je prosječno vrijeme od ishodišta do svakog mjesta na površini P . To prosječno vrijeme se može izraziti kao vrijeme vožnje do težišta površina P_1 odnosno P_2 . Matematičko određenje koordinata težišta (y_{T1} , x_{T2}) ovisi o koeficijentu β , pa postoje dva karakteristična slučaja, $\beta > H/L$ (slika 5.18.), za koji vrijede izrazi (45) do (49), odnosno $\beta < H/L$ (slika 5.19.), za koji pak vrijede izrazi (50) do (54):

$$y_{T1} = \frac{2}{3} H \quad (45)$$

$$x_{T2} = \frac{L}{3} \cdot \frac{3 - A^2}{2 - A} \quad (46)$$

$$\frac{P_1}{P} = \frac{A}{2} \quad (47)$$

$$\frac{P_2}{P} = \frac{2 - A}{2} \quad (48)$$

$$A = \frac{H}{\beta \cdot L} < 1 \quad (49)$$

$$x_{T2} = \frac{2}{3} L \quad (50)$$

$$y_{T1} = \frac{H}{3} \cdot \frac{3 - B^2}{2 - B} \quad (51)$$

$$\frac{P_1}{P} = \frac{2 - B}{2} \quad (52)$$

$$\frac{P_2}{P} = \frac{B}{2} \quad (53)$$

$$A = \frac{\beta \cdot L}{H} < 1 \quad (54)$$

Slučaj $\beta = \frac{H}{L}$ je zapravo granični slučaj prethodna dva za vrijednost $A=1$, odnosno $B=1$.

U tom slučaju su površine jednake, $P_1 = P_2 = \frac{P}{2}$, a relevantne koordinate težišta iznose

$$y_{T1} = \frac{2}{3} H, \quad x_{T2} = \frac{2}{3} L.$$

Određivanje prosječnog vremena jednostavnog ciklusa

Jedan jednostavni ciklus, kao primjer na slici 5.17. pod a), ostvaruje zadatak uskladištenja materijala, a za to su potrebne aktivnosti: utovar, transport, istovar i povratna vožnja na početak novog zadatka.

Pod pretpostavkom da se po jedna jedinica skladištenja odlaže na sva mjesta (sve police) u regalu i to upravo na opisani način, te u skladu s provedenom analizom, slijedi izraz:

$$\text{Ukupno prosječno vrijeme jednostavnog ciklusa } (t_{cj}) = f \left\{ \begin{array}{l} \text{Ukupno prosječno vrijeme } (t_1) \text{ na površini } P_1 \\ \text{Ukupno prosječno vrijeme } (t_2) \text{ na površini } P_2 \\ \text{Vrijeme } (t_k) \text{ za posluživanje mjesta odlaganja} \end{array} \right.$$

Ovaj izraz u eksplicitnom obliku glasi:

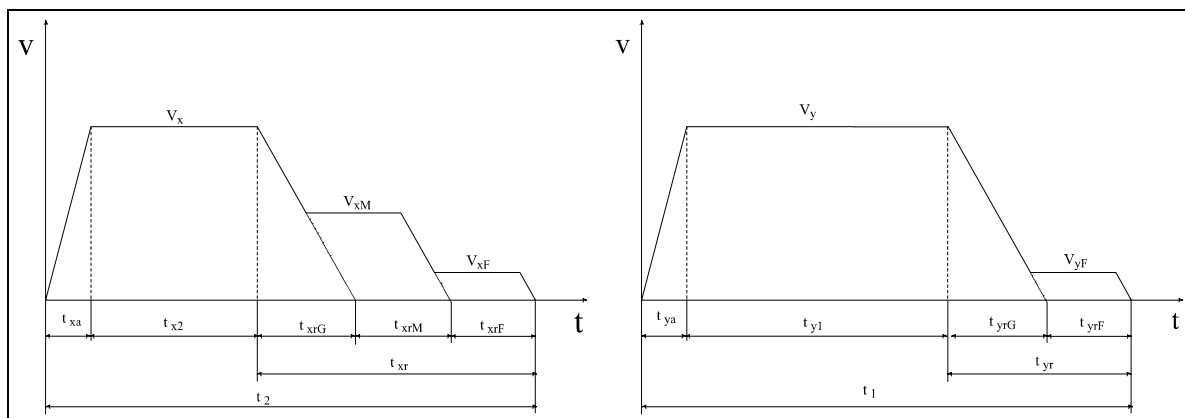
$$t_{cj} = 2(t_1 \frac{P_1}{P} + t_2 \frac{P_2}{P}) + t_k \quad (55)$$

Ako se analizira skup aktivnosti u takvom ciklusu, može se zaključiti da aktivnost transporta treba korigirati. To je očito prema dijagramu gibanja transportnog sredstva na slici 5.20.

Na slici 5.20. su dijagrami gibanja u horizontalnom i vertikalnom smjeru, a vrijede uz pretpostavke:

- ubrzanja i usporenja:
 - u horizontalnom smjeru a_{xa} , a_{xr} , m/s^2
 - u vertikalnom smjeru a_{ya} , a_{yr} , m/s^2
- brzine gibanja u horizontalnom smjeru:

- glavna brzina vozila v_x , m/s
- međubrзина v_{xM} , m/s
- fina brzina v_{xF} , m/s
- brzine gibanja vozila u verikalnom smjeru:
 - glavna brzina vozila v_y , m/s
 - fina brzina v_{yF} , m/s



Slika 5.20. Dijagrami brzina

Pojedina vremena potrebna za navedena gibanja jednostavno se mogu očitati na slici 5.20.

Na temelju provedene analize izraz (55) može se u konačnom obliku ovako definirati:

$$\begin{aligned}
 t_{cj} = & 2 \left\{ \left[\frac{x_{T2}}{v_x} + \frac{v_x}{2} \left(\frac{1}{a_{xa}} + \frac{1}{a_{xr}} \right) + s_{xM} \left(\frac{1}{v_{xM}} - \frac{1}{v_x} \right) + s_{xF} \left(\frac{1}{v_{xF}} - \frac{1}{v_x} \right) \right] \frac{P_2}{P} + \right. \\
 & \left. + \left[\frac{x_{T1}}{v_y} + \frac{v_y}{2} \left(\frac{1}{a_{ya}} + \frac{1}{a_{yr}} \right) + s_{yF} \left(\frac{1}{v_{yF}} - \frac{1}{v_y} \right) \right] \frac{P_1}{P} \right\} + t_k
 \end{aligned} \quad (56)$$

Za određivanje vremena trajanja konkretnog prosječnog ciklusa treba utvrditi područje vrijednosti ili prema slici 5.18. ili prema slici 5.19., a nakon toga u izraz (56) uvrstiti ili relacije (45) do (49) ili relacije (50) do (54).

Određivanje prosječnog vremena složenog ciklusa

Ukupno vrijeme složenog ciklusa može se odrediti na primjeru ciklusa sa slike 5.17. pod b). Takav ciklus oblikovan je za zadatak: nakon prijama u točki A, jednu jedinicu skladištenja treba odložiti u regal a potom jednu drugu jedinicu skladištenja treba izuzeti i prevesti na mjesto za otpremu (u ovom slučaju isto mjesto - točka A).

Pojedine aktivnosti toga ciklusa navedene su na slici 5.17. Za razliku od jednostavnog ciklusa u ovom slučaju ukupno vrijeme ciklusa biti će veće barem radi gibanja od mjesta B do mjesta C. Razmatranjem se pokazuje da postoje dva ekstremna slučaja. U prvom, prosječni razmak od ishodišta do svih ostalih polica predstavlja maksimalni prosječni razmak, S_{max} , a određen je u prethodnom razmatranju kao y_{T1} odnosno x_{T2} . U drugom slučaju prosječni razmak od središta površine regala do svih ostalih polica predstavlja minimalni prosječni razmak, S_{min} .

Analizom tog slučaja dobije se $S_{min} = \frac{1}{2}y_{T1}$, odnosno $S_{min} = \frac{1}{2}x_{T2}$, ovisno o koordinati. Prosječni put od svake police do svih ostalih polica dovoljno točno je određen aritmetičkom sredinom tih dviju ekstremnih vrijednosti $S_{sr} = \frac{S_{min} + S_{max}}{2}$. Ovisno o koordinati u S_{min} i S_{max} dobijamo izraze za y_{sr} i x_{sr} .

$$y_{sr} = \frac{3}{4}y_{T1} \quad x_{sr} = \frac{3}{4}x_{T2} \quad (57)$$

Iznos tih veličina u konkretnom slučaju ponovo ovisi o koeficijentu β , zbog čega treba uvrstiti odgovarajuće vrijednosti za y_{T1} iz (45) odnosno (51), te za x_{T2} iz (46) odnosno (50). U složenom ciklusu se pojavljuje dva puta vrijeme t_k , što je očito iz same strukture složenog ciklusa.

Koristeći sve dosada navedeno, vrijeme složenog ciklusa je:

$$t_{cs} = \left\{ \left(2 + \frac{3}{4} \right) \frac{x_{T2}}{v_x} + 3 \left[\frac{v_x}{2} \left(\frac{1}{a_{xa}} + \frac{1}{a_{xr}} \right) + s_{xM} \left(\frac{1}{v_{xM}} - \frac{1}{v_x} \right) + s_{xF} \left(\frac{1}{v_{xF}} - \frac{1}{v_x} \right) \right] \right\} \frac{P_2}{P} +$$

$$+ \left\{ \left(2 + \frac{3}{4} \right) \frac{y_{T1}}{v_y} + 3 \left[\frac{v_y}{2} \left(\frac{1}{a_{ya}} + \frac{1}{a_{yr}} \right) + s_{yF} \left(\frac{1}{v_{yF}} - \frac{1}{v_y} \right) \right] \right\} \frac{P_1}{P} + 2 \cdot t_k \quad (58)$$

Analogno jednostavnom ciklusu i u ovom će slučaju neki konkretan, jednako strukturirani, složeni ciklus ovisiti o odnosu β i H/L .

Opisani model opisuje jedan regal kao površinu s beskonačno mnogo mjesta (točaka) za odlaganje i izuzimanje. Kako u realnosti u regalu imamo konačan broj mjesta odlaganja, određivanje prosječnog vremena vožnje točnije se određuje srednjim koordinatama mjesta odlaganja te broju mjesta odlaganja iznad odnosno ispod pravca brzine, N_1 i N_2 [43].

Promatrajući regal kao površinu s konačnim brojem mjesta odlaganja (dimenzije jednog mjesta odlaganja su l po duljini i h po visini), u smjeru osi x nalazi se N_x mjesta odlaganja s koordinatama $x = i \cdot l$, $i = 1 \dots N_x$, dok se u smjeru osi y nalazi N_y mjesta odlaganja s koordinatama $y = j \cdot h$, $j = 0 \dots (N_y - 1)$. Pretpostavka je da se visokoregalni viličar u početnom položaju nalazi u visini prvog reda regala. Koordinate relevantnih fiktivnih odredišta odrede se, za slučaj $\beta > H/L$, pomoću izraza

$$x_{T2} = \left(\frac{v_x \cdot (N_y - 1)h}{v_y} \sum_{i=1}^{N_x} \cdot \sum_{j=0}^{N_y-1} i \cdot l \right) \cdot \frac{1}{N_2} + \left(\sum_{i=\frac{v_x \cdot (N_y - 1)h}{v_y}}^{N_x} \cdot \sum_{j=0}^{N_y-1} i \cdot l \right) \cdot \frac{1}{N_2}$$

$$y_{T1} = \left(\sum_{j=0}^{N_y-1} \cdot \sum_{i=1}^{N_x} j \cdot h \right) \cdot \frac{1}{N_1} \quad (59)$$

Na analogan način odrede se koordinate i za slučaj $\beta < H/L$. Izračunavanje brojčanog iznosa koordinata lako je izvedivo pomoću računala i programa koji slijedi:

```

10 REM izracunavanje koordinata tezista površina s konacnim brojem mjesta odlaganja
20 FOR i = 1 TO NX
30 FOR j = 0 TO (NY - 1)
40 IF j * h > beta * i * l THEN sy = sy + (j * h): N1 = N1 + 1: GOTO 130
50 sx = sx + (i * l): N2 = N2 + 1
60 NEXT
70 NEXT
80 yt1 = sy / N1
90 xt2 = sx / N2

```

Prosječno vrijeme vožnje u ovom se slučaju računa po izrazu

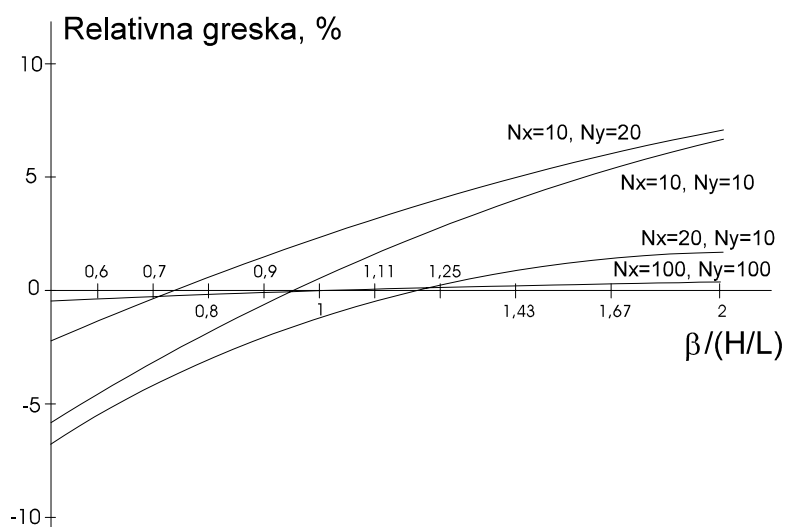
$$\bar{t}_v = \frac{t_{yT1} \cdot N_1 + t_{xT2} \cdot N_2}{N} \quad (60)$$

gdje je N ukupan broj mjesta odlaganja u regalu, $N = N_1 + N_2$.

Provedeno izračunavanje vremena vožnje pokazalo je postojanje greške pri računanju prosječnog vremena vožnje za slučaj pretpostavke regala s beskonačnim brojem mjesta odlaganja. Izračunavala se relativna greška po izrazu $g\% = \frac{(\bar{t}_{v \text{ kon}} - \bar{t}_{v \text{ besk}})}{\bar{t}_{v \text{ kon}}} \cdot 100$. Varirajući

veličinu regala promjenom broja mjesta odlaganja, nagib pravca brzine i odnos dimenzija jednog mjesta odlaganja, došlo se do određenih zaključaka. Greška je manja u slučajevima regala s istim brojem mjesta odlaganja po visini i duljini. Također se greška smanjuje povećanjem ukupnog broja mjesta odlaganja za isti odnos broja mjesta odlaganja po visini i duljini, jer se time približavamo slučaju regala s beskonačnim brojem mjesta odlaganja.

Dijagram na slici 5.21. prikazuje ovisnost greške o nagibu pravca brzine za određene primjere.



Slika 5.21. Dijagram ovisnosti greške o $\beta/(H/L)$

Vidljivo je da je greška najmanja za $\frac{\beta}{H/L}=1$, odnosno raste povećanjem odnosno smanjenjem tog odnosa. Za $\beta < H/L$ greška je negativna, odnosno računanjem prosječnog vremena ciklusa po izrazima (56) odnosno (58) dobiti ćemo iznos veći od stvarnog. U suprotnom, za $\beta > H/L$ greška je pozitivna, te će izračunato prosječno vrijeme ciklusa biti manje od stvarnog. Također se vidi da je pravac ovisnosti greške “ulijevo” odnosno “udesno”, ovisno o odnosu broja mjesta odlaganja po visini odnosno duljini. Isto tako vidi se smanjenje iznosa greške povećanjem broja mjesta odlaganja. Analiza je također pokazala da odnos h/l ne utječe na grešku. Vidljivo je da za neka realna visokoregalna skladišta greška zbog pretpostavke površine regala s beskonačnim brojem mjesta odlaganja ne prelazi par postotaka.

Za određivanje vremena ciklusa visokoregalnog viličara *Bozer* i *White* [45] su razvili model statističkim pristupom, s pretpostavkom o samo dvije konstantne brzine kretanja vozila, v_y u vertikalnom i v_x u horizontalnom smjeru (ostale pretpostavke kao u prethodnom modelu). U cilju određenja očekivanog vremena ciklusa, “normalizira” se regal određivanjem tzv. “faktora oblika” FO kako slijedi:

$$FO = \min(t_h/t_{max}, t_v/t_{max}) \quad (61)$$

pri čemu se t_{max} definira kao

$$t_{max} = \max(t_h, t_v) \quad (62)$$

Očekivano vrijeme jednostavnog, odnosno složenog radnog ciklusa mogu se izračunati pomoću

$$t_{cj} = t_{max} \left[1 + \frac{FO^2}{3} \right] + t_k \quad (63)$$

odnosno

$$t_{cs} = \frac{t_{max}}{30} [40 + 15 \cdot FO^2 - FO^3] + 2 \cdot t_k \quad (64)$$

Detaljniji opis tog modela, te izvod izraza (63) i (64) u [45]. Također u svom radu navedeni autori razvijaju model za različite slučajeve pozicija ulaza i izlaza.

Opisani modeli koriste se za određivanje protoka postojećih AS/RS sustava te za procjenu protoka pri projektiranju novog sustava. Kako je u današnjim uvjetima potreba za smanjenim vremenom ispunjenja narudžbe uz smanjenje troškova uvjet opstanka na tržištu, povećanje protoka (odnosno minimizacija prosječnog vremena radnog ciklusa) tema je brojnih radova stručnjaka u području logistike. Jedan od načina povećanja protoka je i određivanje pozicije visokoregalnog viličara kada čeka na slijedeći radni ciklus (eng. *dwell point*). Postoje različiti heuristički postupci (u literaturi nazvani eng. *dwell point strategies*, detaljnije u [45]), ali i analitički modeli za različite konfiguracije AS/RS sustava (detaljnije u *Peters et al.* [64]). Povećanje protoka moguće je određivanjem redoslijeda odlaganja i izuzimanja u slučaju rada

visikoregalnog viličara složenim ciklusom³⁷. Također, ovi modeli odnose se na slučajni raspored. Korištenjem unaprijed određenog skladištenja odnosno skladištenja po zonama može se povećati protok, a statistički pristup korišten u ovom modelu mogao bi se primjeniti i za takve slučajeve. No zbog povećanog broja mogućnosti rasporeda razvoj takvih modela bio bi jako složen [45].

5.4. Simulacija - osvrt

Izgradnja općeg modela skladišta u točki 1.2. definirano je kao polazište, a nakon toga u poglavljima 2.,3. i 4. prikazani su važniji rezultati istraživanja toga problema sa stajališta logističkih lanaca, logistike, skladišnog menadžmenta i naročito oblikovanja skladišnih sustava. U ovom poglavlju analiza i prikaz analitičkih postupaka i metoda bila bi manjkava bez barem osvrta na simulacije.

I u teoriji i u praksi naglašava se simulacija kao izrazito pogodan analitički alat za testiranje alternativa, koja je od svog ulaska na industrijsku scenu 70-ih godina prošlog stoljeća postala najčešće korištena tehnologija i alat u oblikovanju i analizi kompleksnih sustava [59]., kojima sve više pripadaju i suvremeni skladišni [57].

Poznato je da se metodama simulacije oponašaju brojni složeniji procesi ili sustavi kako u fazama razvoja, istraživanja i/ili projektiranja, tako i u tijeku eksploatacije; ispitivanje, vrednovanje i sl. Različiti autori definirali su simulaciju na različite načine, a među njima je i definicija Zieglera, koja glasi: *“Pojam modeliranje i simuliranje označava sklop aktivnosti pridruženih konstruiranju modela realnog sustava i njegove simulacije na računalu. Napose, modeliranje se odnosi prije svega na odnose između realnog sustava i modela, a simulacija označava ponajprije relacije između računala i modela”* [58].

Iz te definicije se vidi da je pojam simulacije izravno povezan s pojmom modeliranja. Činjenica je da razvoj modernih računala i simulacijskih jezika popularizira primjenu modeliranja i simulacije za rješavanje realnih problema u različitim disciplinama. Modeliranje i simulacija vuku svoje korijene od Drugog svjetskog rata, pojavom metode Monte Carlo, te stoga simulacija u početku ne podrazumjeva nužno i uporabu računala. No današnji razvoj računarke tehnologije, tehnike i alata čini simulaciju vrlo atraktivnim alatom za rješavanje i najsloženijih problema u širokom rasponu disciplina.

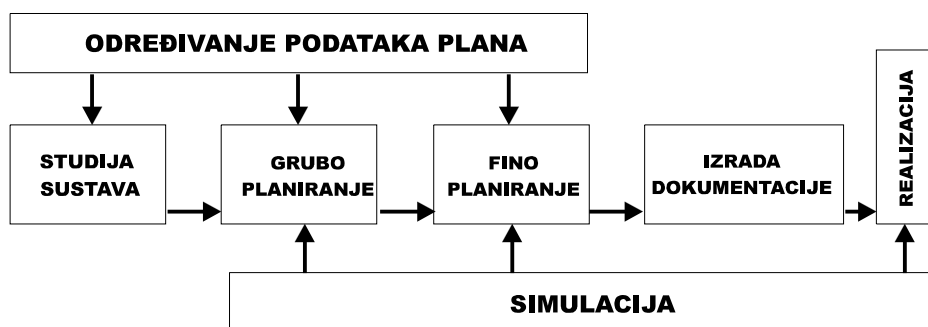
Simulaciju treba koristiti u slijedećim slučajevima [60]:

- stvarni sustav ne postoji te je skupo, vremenski predugo, rizično ili nemoguće napraviti eksperiment na prototipu,
- eksperimentiranje na postojećem sustavu je skupo, opasno ili može dovesti do ozbiljnih lomova,
- postoji potreba za analizom prošlog, sadašnjeg ili budućeg ponašanja sustava u realnom vremenu, povećanom vremenu ili smanjenom vremenu,
- matematičko modeliranje sustava je nemoguće,
- matematički modeli ne mogu se jednostavno i praktično riješiti analitičkim ili numeričkim putem,
- moguće je postići zadovoljavajuću valjanost simulacijskog modela i rezultata,
- očekivani rezultati simulacije poklapaju se sa zahtjevima određenog problema.

³⁷ Peters et al. [64] za detaljniji opis upućuju na Han et al.: On Sequencing Retrievals in an Automated Storage/Retrieval System, *IIE Transactions*, Vol. 19, No. 1, 1987, p. 56-66

Također je važno napomenuti da simulacija nije tipična metoda optimalizacije. Ukoliko je cilj istraživanja odrediti optimalan izbor parametara varijabli nekog modela, onda valja imati na umu da to ne možemo postići simulacijom. Simulacijom se može izvesti nekoliko varijanti i jednostavno izabrati najbolja, ali nitko ne garantira da je postignut optimum. Koliko je rezultat blizu optimuma ovisi o sposobnosti, znanju i intuitivnosti eksperimentatora. Kompjutersko modeliranje i simulacija su primarno usmjereni na dobijanje zadovoljavajućih rješenja praktičnih problema.

U postupku projektiranja, simulacija skladišnih sustava se koristi za oblikovanje prostornog rasporeda i strukturiranje sustava za rukovanje materijalom [57], odnosno tehnike tokova materijala. Pri tome se u grubom planiranju i izradi varijanti uspoređuju međusobno statistički rezultati da bi se izabrala bolja varijanta. U fazi detaljnog planiranja, statistički podaci koji se dobivaju kao rezultat simulacije daju informacije o faktorima iskorštenja odabranih elemenata sustava i podsustava te stoga daju mogućnost određenih intervencija i preinaka. Time se uporabom simulacije dobiva određena sigurnost u donošenje odluka. Kao primjer uporabe simulacije u procesu planiranja prikazati će se način izrade projekta SICALIS (poznate kompanija *Siemens*). Kao što ilustrira slika 5.22., simulacija se koristi u fazama grubog i finog(detaljnog) planiranja, ali i u realizaciji projekta. Da se provjere i kvalitetnije procjene djelovanje i učinci odabranih strategija i dimenzioniranja, dijelovi projekta vezani uz logistiku modeliraju se, te simuliraju dinamički procesi [69].



Slika 5.22. SICALIS izrada projekta poduzeća Siemens

U nekim slučajevima korištenje simulacije može biti isplativo i za analizu postojećeg skladišta, s dva cilja. Prvo, izgradnjom simulacijskog modela, te usporedbom dobivenih rezultata sa stvarnim rezultatima operacija skladišta može se simulacijski model korigirati da što bolje reprezentira stvarni sustav, s ciljem korištenja u buduće svrhe, npr. analizom poboljšanja skladišta. Drugo, ostvaruje se baza za testiranje različitih scenarija nedeterminiranosti skladišnih operacija, te za testiranje nekih drugih operativnih postupaka koji ne zahtijevaju nužno modifikacije opreme ili prostornog rasporeda.

Na tržištu se danas mogu naći brojni simulacijski software-i, s cijenom od nekoliko stotina dolara za jednostavnije PC programe do 50.000 dolara za sofisticirane software-ske pakete za radne stanice. Između ta dva ekstrema mogu se naći za otprilike 15.000 dolara korektni softverski programi, najčešće korišteni za simulacije. Kako se oni međusobno razlikuju po vrsti simulacije, području primjene koji pokrivaju, a pogotovo po karakteristikama, kod izbora simulacijskog softwarea važno je pomno razmotriti nivo detalja modela koji taj software podržava ali i lakoću korištenja takvog softwarea [61]. Zbog toga se i razvoj simulacijskog softwarea kreće u dva smjera: razvoj sve naprednijih simulacijskih programskih jezika

ugrađenih u simulacijske pakete (kojima se omogućava izgradnja detaljnijih modela), te razvoj simulacija s grafičkim prikazom modela, danas sve više i u tri dimenzije (3D modeli), grafičkom izgradnjom modela i animacijom, koji olakšavaju izgradnju modela, ali i pružaju vizualizacijom potvrdu o valjanosti izgrađenog modela [63].

U budućnosti se može očekivati da će, osim unapređenja spomenutih karakteristika, simulacijski software imati i veza s ostalim software-skim aplikacijama za sustave i procese više razine, sa što širom podrškom u analizi rezultata, pogotovo optimalizacijom [61].

Umjesto zaključka, ilustrativno je slijedeće mišljenje skladišnih stručnjaka iz konzultantske i projektantske kuće *Gross & Associates*: *“Simulacija više nije “mistični” alat isključivo korišten od strane raketnih znanstvenika i nuklearnih inženjera. Zbog sve lakših programskih tehnika i sve snažnijih PC računala simulacija je postala dostupna gotovo svakome. U dobu kompjuterski vođenih, automatiziranih i vrlo složenih skladišnih sustava, simulacija se ne smije zanemariti, jer je jedan od vrlo vrijednih alata za oblikovanje [57].“*

6. MODEL OBLIKOVANJA SKLADIŠNOG SUSTAVA

Pri oblikovanju skladišnog sustava postoje mnoge alternative. Glavni problem s kojim se suočava projektant skladišta je kako odabrati odgovarajuću opremu i odrediti najbolji prostorni raspored skladišta, pri čemu će rezultat zadovoljiti dva osnovna kriterija, minimalne troškove i ispunjenje zahtjeva korisnika, odnosno drugim riječima efikasno i efektivno skladište. Kao i u svakom projektiranju, i ovdje je pravilo postići kompromis između različitih troškova (zemljišta, zgrade, opreme, ljudskog rada, održavanja,...) u okvirima zadanim funkcijom skladišta.

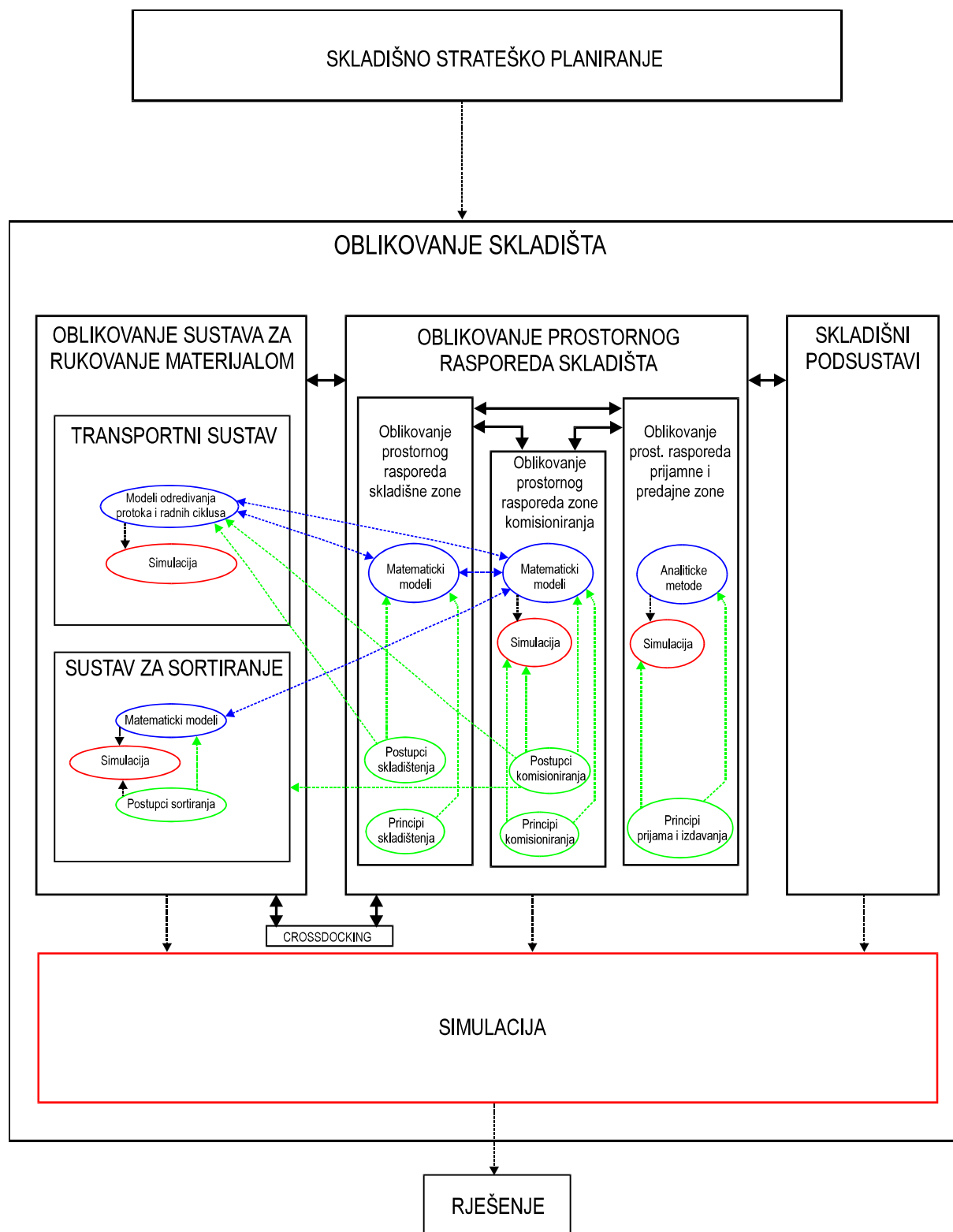
Uvidom u literaturu i druge izvore, uočene su osim analitičkih metoda i matematičkih modela koji optimiziraju određeno rješenje i brojne empirijske, heurističke metode i principi. Među matematičkim modelima ima onih koji su namijenjeni rješavanju dijelova sustava ili nekih podprocesa skladišta, što vodi do suboptimalizacije. Već je u uvodu prethodnog poglavlja naglašena potreba povezivanja takovih modela, odnosno izgradnja općeg modela koji će uključiti sve elemente skladišnog sustava, te rezultirati potpunom optimalizacijom. Temeljem provedene analize modela, metoda, postupaka i principa, može se problem oblikovanja skladišta prikazati strukturnom shemom kao prema slici 5.24. Na toj slici prikazana je međuzavisnost dijelova skladišta (pune linije), te ulazni podaci u alate za rješavanje određenih problema - matematičke modele i simulaciju (isprekidane linije). Pri tome plava boja sugerira na optimizaciju, crvena na simulaciju a zelena na heuristiku. Plave isprekidane linije s obostranom strelicom, koje povezuju pojedine matematičke modele, ukazuju na međuzavisnost tih modela, a time i na potrebu njihova povezivanja. Isto tako, zelene strelice ukazuju na utjecaj pojedinih postupaka i principa na takove modele, te kompleksnost oblikovanja skladišnih sustava. Kao krajnji rezultat povezivanja svih modela, metoda, postupaka i principa, može se očekivati opći, egzaktni model skladišnog sustava, grafički prikaz na slici 5.23.



Slika 5.23. Idealizirana strukturna shema oblikovanje skladišta

Radi doprinosa ostvarenju cilja prema slici 5.24., u nastavku se prezentira rješenje kojim se više postojećih analitičkih modela povezuje u složeniji model. Model određivanja optimalnih izmjera skladišne zone (MOISZ) prema kriteriju najmanjeg puta, opisan u točki 5.1. na stranicama 5-5 i 5-6, rezultira optimalnim prostornim rasporedom zone skladištenja (broj dvostrukih redova), ali sa pretpostavkom odabranog transportnog sredstva. Određivanje potrebnog broja transportnih sredstava ovisi o protoku u skladište, ali i o vremenu radnog

ciklusa, za čije određenje se koristi model opisan u točki 5.3. na stranici 5-24, izraz (44). To vrijeme izravno ovisi i o očekivanom prosječnom putu, koji je rezultat odabranog prostornog rasporeda.



Slika 5.24. Grafički prikaz oblikovanja skladišta

Spomenuti veći model skladišne zone (MSZ) odabire najpovoljniju varijantu prostornog rasporeda skladišne zone i sustava za rukovanje materijalom po kriteriju najmanjih ukupnih troškova projekta.

Ulazni podaci modela su potreban protok i kapacitet skladišta, tehnički podaci transportnih sredstava i paletnih mjesta, investicijski i operativni godišnji troškovi te očekivano trajanje projekta. Model MSZ na temelju optimalnog broja dvostrukih regala odnosno prolaza za svako transportno sredstvo izračunava dimenzije skladišne zone, te određuje ukupne troškove (zbroj investicijskih troškova i godišnjih operativnih troškova u vremenu trajanja projekta). Rezultat je odluka o izboru varijante s najmanjim ukupnim troškovima.

Ukupni troškovi su zbroj investicijskih i ukupnih godišnjih operativnih troškova u vremenu trajanja projekta (n godina),

$$C_{uk} = C_{inv} + \sum_{i=1}^n C_{oper} \quad (65)$$

U investicijske troškove spadaju troškovi nabave transportnih sredstava, izgradnja skladišnog objekta, te troškovi opreme. U godišnje troškove spadaju operativni troškovi transportnih sredstava (vozači, energija, održavanje,...) te troškovi grijanja, rasvjete i održavanja skladišnog objekta i opreme³⁸.

Ulazni podaci u model su:

Q – kapacitet skladišta (broj paletnih mjesta)

T – protok (paleta/s)

$l_1 \times b_1 \times h_1$ – dimenzije paletnog mjesta

Tehnički i ekonomski parametri transportnog sredstva:

C_l – cijena transportnog sredstva, kn

v – brzina transportnog sredstva, m/s

b_2 – potrebna širina puta između regala, m

b_3 – potrebna širina glavnog prolaza, m

h_v – maksimalna visina dizanja, m

C_{tvil} – godišnji operativni troškovi, kn

t_k – konstantni iznos vremena radnog ciklusa (vrijeme za odlaganje i izuzimanje), s

Investicijski troškovi skladišnog objekta i opreme:

C_{tk} – troškovi gradnje krova, kn/m²

C_{tz} – troškovi gradnje zidova, kn/m²

C_{tp} – troškovi gradnje temelja i poda, kn/m²

C_{zem} – troškovi zemljišta, kn/m²

C_{i1} – troškovi opreme, kn/m²

C_{i2} – troškovi opreme, kn/m³

³⁸ Tijekom izrade rada nije konzultirana odgovarajuća literatura iz područja ekonomskih znanosti. Manjkavosti prikaza strukture troškova nemaju bitnog utjecaja na cilj ovoga rada.

C_{i3} – troškovi opreme, kn

C_{treg} – troškovi regalne konstrukcije, kn/paletno mjesto

Ukupni godišnji operativni troškovi skladišta i opreme:

C_{gri} – troškovi grijanja, kn/m³

C_{ras} – troškovi rasvjete, kn/m²

C_{odr} – troškovi održavanja objekta i opreme, % od investicijskih troškova skladišnog objekta i opreme.

Model MSZ izračunava ukupne troškove za sve varijante (ovisne o transportnom sredstvu). Pomoću modela MOISZ prema kriteriju najmanjeg puta, za svako transportno sredstvo odredi se optimalni broj dvostrukih redova (n_1) po izrazu (15), zaokruženo na cijeli broj. Broj razina (n_2) ovisi o dimenziji paletnog mjesta (h_1) i maksimalnoj visini dizanja transportnog sredstva (h_v), te se može definirati kao

$$n_2 = h_v / h_1 + 1 \quad \text{zaokruženo na cijeli broj.} \quad (66)$$

Na temelju izračunatog broja dvostrukih redova, što definira duljinu i širinu redova prema (12) i (13), mogu se izračunati duljina i širina skladišta kao

$$L_s = L_r + b_3 \quad (67)$$

$$S_s = L_s \quad (68)$$

Visina skladišta određena je brojem razina te potrebnom visinom za instalacije i podizanje palete na najvišoj razini, h_{krov} , kao

$$H_s = n_2 \cdot h_1 + h_{krov} \quad (69)$$

Srednji put transportnog sredstva (pod pretpostavkama ugrađenog modela) izračuna se po izrazu (14).

Da se odredi potreban broj transportnih sredstava potrebno je izračunati vrijeme radnog ciklusa. Ono se sastoji od konstantnog iznosa vremena potrebnog za izuzimanje i odlaganje, te od vremena vožnje koje ovisi o brzini vožnje i prijednom putu. Prosječno vrijeme radnog ciklusa stoga je definirano kao

$$t_c = t_k + 2 \cdot \frac{S}{v} \quad (70)$$

na temelju izračunatog prosječnog vremena radnog ciklusa i zadanog protoka odredi se potreban broj transportnih sredstava kao

$$b_v = T \cdot t_c \quad \text{zaokruženo na prvi veći cijeli broj.} \quad (71)$$

Ukupni troškovi projekta (C_{uk}) zbroj su investicijskih troškova transportnih sredstava (C_{inv1}), investicijskih troškova skladišnog objekta i opreme (C_{inv2}) te operativnih godišnjih troškova u vremenu trajanja projekta (C_{oper})

$$C_{inv1} = C_I \cdot b_v \quad (72)$$

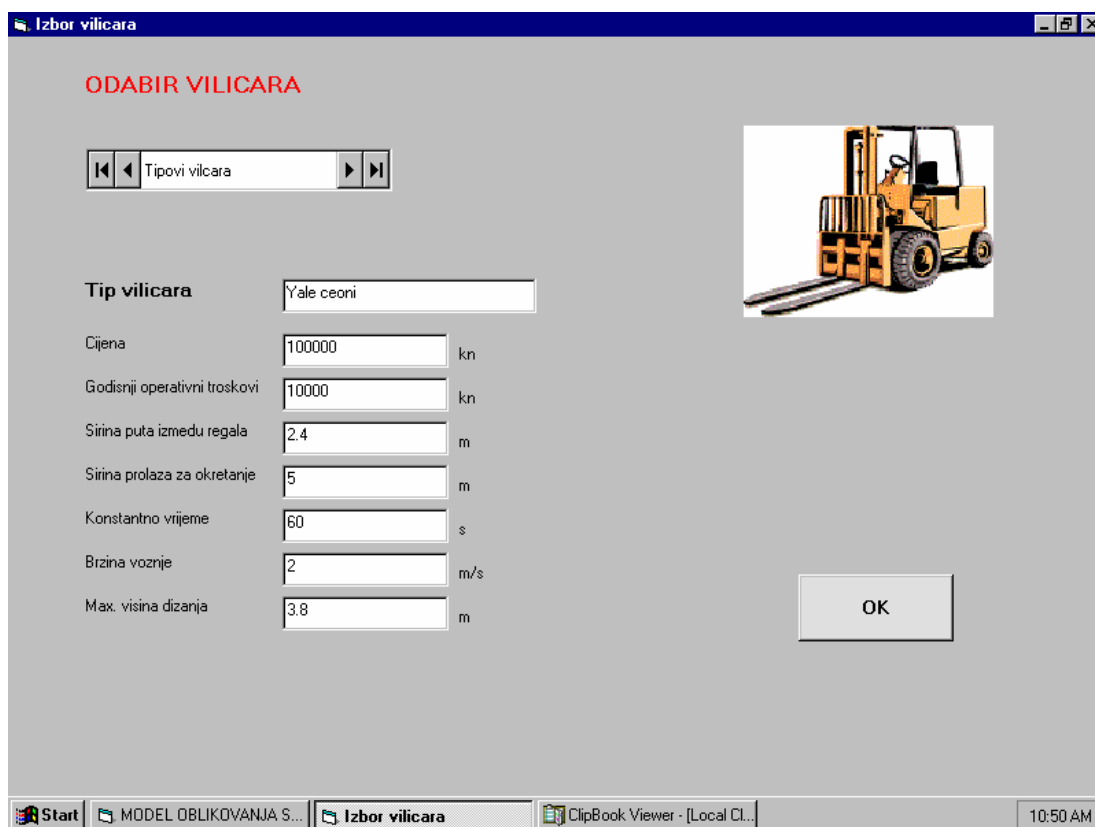
$$C_{inv2} = (C_{tk} + C_{tp} + C_{zem} + C_{i1}) \cdot L_s \cdot B_s + C_{tz} \cdot 2 \cdot (L_s + B_s) \cdot H_s + C_{i2} \cdot L_s \cdot B_s \cdot H_s + C_{i3} \quad (73)$$

$$C_{oper} = \sum_{ii=1}^n (C_{tvil} \cdot b_v + C_{gri} \cdot L_s \cdot B_s \cdot H_s + C_{ras} \cdot L_s \cdot B_s + C_{odr} \cdot C_{inv2}) \quad (74)$$

Za sva transportna sredstva odredi se ukupan iznos troškova projekta, te se na temelju minimalnih ukupnih troškova odabere najpovoljnija varijanta.

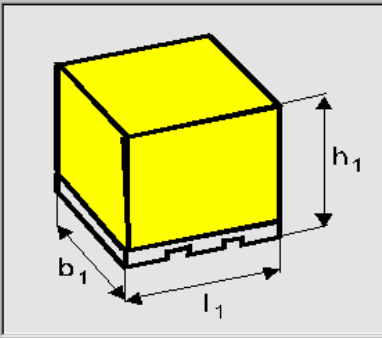
Povezivanje modela MOISZ, modela za određivanje vremena radnog ciklusa te modela za određivanje potrebnog broja transportnih sredstava rezultiralo je većim modelom MSZ koji u sebi sadži spomenute manje modele, koji pak rezultira potpuno optimalnim prostornim rasporedom i sustavom za rukovanje materijalom prema kriteriju najmanjih troškova.

Za opisani složeniji model napravljen je i odgovarajući kompjuterski program i odgovarajuća baza podataka. Za svako transportno sredstvo program izračunava ukupne troškove u vremenu trajanja projekta. Da se dobije bolji uvid u pojedina rješenja (varijante), program sam ne odabire varijantu s minimalnim ukupnim troškovima, već je to ostavljeno projektantu. Varijante se definiraju odabirom transportnog sredstva, koji se nalaze u bazi transportnih sredstava kao sastavnom dijelu programa. Slika 5.25. prikazuje ekran za odabir transportnog sredstva.



Slika 5.25. Ekran za odabir transportnog sredstva

Definiranje dimenzija paletnog mjesta



Duljina palete, l_1 (m)

Sirina palete, b_1 (m)

Visina palete, h_1 (m)

Razmak između paleta, h_{pal} m

Razmak od palete do nosaca razine iznad, h_{pn} m

Razmak zadnje palete do krova/instalacija, h_{pk} m

Potrebna visina podizanja vilicara, h_{sig} m

Razmak između regala, h_{reg} m

OK

Start Exploring - Magistarski MODEL OBLIKOVANJA S... Definiranje dimenzija ... 10:59 AM

Slika 5.26. Ekran za definiranje paletnog mjesta

Definiranje troškova

Investicijski troškovi objekta i opreme

Trosak izgradnje krova kn/m²

Trosak gradnje poda kn/m²

Troškovi zidova kn/m³

Troškovi zemljišta kn/m²

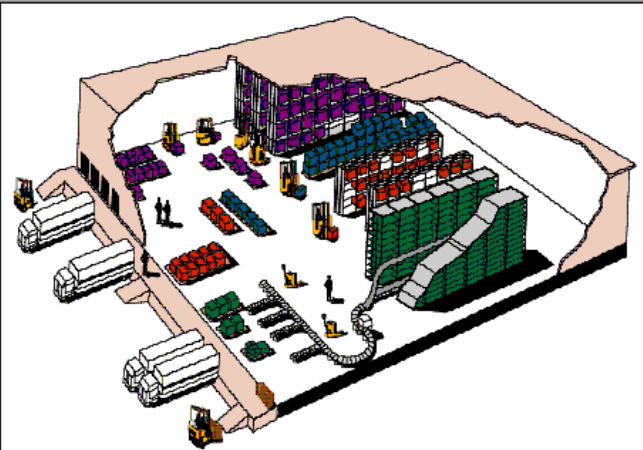
Troškovi regalne konstrukcije kn/pal.mjesto

Troškovi opreme kn/m²

kn/m³

kn

Ostali investicijski troškovi kn



Godisnji operativni troškovi

Troškovi grijanja kn/m³

Troškovi rasvjete kn/m²

Troškovi održavanja objekta i opreme % investicijskog troška objekta i opreme

OK

Start MODEL OBLIKOVANJA S... Definiranje troškova 11:01 AM

Slika 5.27. Ekran za definiranje ekonomskih parametara

Ulazni podaci koji definiraju dimenzije paletnog mjesta definiraju se u programu pomoću ekrana prikazanog na slici 5.26., a ekonomski parametri (investicijski i operativni troškovi) pomoću ekrana prikazanog na slici 5.27.

Program izračunava ukupne troškove projekta pomoću ugrađenog modela. Da bi projektant dobio bolji uvid u troškove svake varijante, program za svaku odabranu varijantu prikaže troškove na osnovnom ekranu na slici 5.28., nakon definiranja kapaciteta, protoka i vremena trajanja projekta.

Slika 5.28. Osnovni ekran programa

Ovakav model koristan je projektantima i menadžerima za analizu različitih varijanti. Kako se on bazira na pretpostavkama o jednom ulazu/izlazu na kraju skladišta, daljnje proširenje modela trebalo bi omogućiti drugačiju poziciju i broj ulaza/izlaza. Također, odlaganje je po slučajnom rasporedu, te bi se model mogao proširiti da uključuje i druge postupke odlaganja. No, postavlja se problem kako brojne postupke i principe integrirati u jedan takav egzaktni matematički model. Kako bi takav model trebao sadržavati u sebi matematičku usporedbu brojnih alternativa, te kvantitativnu reprezentaciju brojnih kvalitativnih značajki, više je nego očita složenost takvog modela odnosno same njegove izgradnje.

7. ZAKLJUČAK

Poduzeća se suočavaju sve više i više sa zahtjevima korisnika za visokokvalitetnim proizvodima koji će biti dostavljeni u što kraćem vremenu, s visokim stupnjem pouzdanosti. Cijeli logistički lanac treba biti sinhroniziran da odgovori na te zahtjeve korisnika, a u isto vrijeme, zbog jake konkurencije, poduzeća koja se nalaze u tom logističkom lancu moraju sniziti svoje troškove.

Skladišta su važan dio svakog logističkog lanca, a često čimbenik sa značajnim utjecajem i na vrijeme i na troškove. Zbog toga je poboljšanje performansi skladišta nužan aspekt u procesu rekonfiguracije cijelog logističkog lanca. Tehnološki razvojem, npr. automatiziranim skladištima i transportnim sustavima, stvorile su se mogućnosti za brže i pouzdanije operacije. U komunikaciji, elektronička razmjena podataka, sustavi za upravljanjem, Internet i dr. omogućuju brži i pravovremeniji odgovor skladišta na zahtjeve korisnika.

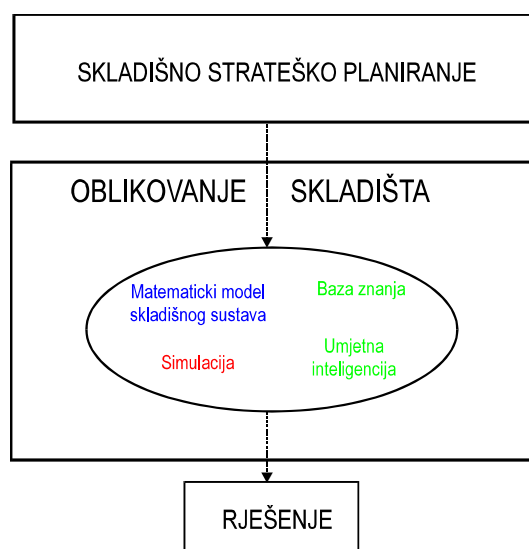
Prvi dio rada istražuje značenje skladišta u logističkim lancima današnjice te važnost oblikovanja skladišta, bilo u projektiranju novih skladišta ili poboljšanju postojećih skladišta. Mnogo istraživanja je napravljeno na polju skladištenja. Međutim, većina istraživanja odnosi se na jedan dio cijelog problema. Većina postojećih modela i metoda rijetko pokušava optimizirati više od jednog aspekta skladišta. Zbog potrebe potpune optimalizacije skladišta i skladišnog procesa, potrebno je promatrati interakcije postojećih modela, te njihovim povezivanjem razvoj novih, većih modela koji će promatrati skladište kao cjelinu, umjesto po dijelovima. U oblikovanju skladišta koriste se i mnoga empirijska saznanja (principi), koja također utječu na oblikovanje skladišta, a otežano ih je implementirati u matematičke modele. Cilj istraživanja na ovom području je izgradnja modela skladišta kao pomoć za donošenje odluka u oblikovanju skladišta. U ovom radu namjera je bila dati uvid u različite postojeće modele i metode oblikovanja skladišta, postupke i principe skladištenja, te njihov utjecaj na performanse skladišta. Rezultat analize pokazuje da je vrlo složen razvoj konačnog rješenja (modela cjelokupnog skladišta), već je logičan put postepena izgradnja sve većih modela povezivanjem postojećih. Npr. razvijeni su brojni dobri postupci skladištenja i modeli koji optimiraju prostorni raspored skladišne zone. Ali rezultat tih modela izravno ovisi o odabranom transportnom sustavu u skladištu. Odabir transportnog sustava rezultat je ispunjenja zahtjeva za protok (rezultat vremena radnih ciklusa) uz minimalne troškove, koji ovise o odabranom prostornom rasporedu i postupku skladištenja. Odabrano ukupno rješenje dobije se nakon komparacije alternativa, a ono je samo približno optimalno. Za potpunu optimizaciju tog dijela skladišta potrebna je izgradnja većeg modela koji će uključiti u sebe postojeće spomenute modele. Također, pri oblikovanju zone komisioniranja koriste se brojne metode. Vrlo su dobro razvijene metode routinga, međutim bez razmatranja "batch" komisioniranja čime bi se najviše profitiralo. Također, upotreba "batch" komisioniranja zahtijeva naknadno sortiranje. Optimalno rješenje komisioniranja i sortiranja ovisi o kombinaciji različitih postupaka komisioniranja i sortiranja, te je nužna izgradnja većeg modela. Konačno, u mnogo slučajeva skladišna zona i zona komisioniranja su zajedničke, te bi za optimalno rješenje bio potreban model koji uključuje sve ovdje spomenuto. To ujedno definira i planove daljnjeg istraživanja autora ovog rada.

Korištenje simulacije, kao sredstva za oblikovanje skladišta, danas je vrlo rašireno, no izgradnja simulacijskog modela cijelog skladišnog sustava, zbog ogromnog broja ulaznih varijabli, jednako je složena kao i izgradnja matematičkog modela. Zbog toga se danas matematičkim modelima optimiziraju određeni dijelovi skladišnog sustava, a simulacijom razmatraju dinamički aspekti pojednostavljenog modela. Kako su spomenuti dijelovi skladišnog sustava u međusobnoj ovisnosti, različite kombinacije definiraju alternative, pa se

nakon simulacije odabire najpovoljnija alternativa. Prema prosudbi autora rada, istraživanje u ovom području treba krenuti u smjeru izgradnje sve većih matematičkih modela koji će rezultirati rješenjima bližim potpuno optimalnom rješenju, a koji se naknadno ugrađuju u specijalizirane simulacijske pakete. To pak zahtijeva daljnje istraživanje i upoznavanje s najnovijim simulacijskim paketima, te mogućnostima ugradnje optimizacijskih alata u takve pakete. No kako zamijeniti intuitivnost i kreativnost projektanta, ostaje otvoreno pitanje.

Korištenje ekspertnih sustava³⁹, kao i ostalih elemenata umjetne inteligencije (umjetne neuronske mreže⁴⁰, sustava neizrazite logike⁴¹, generičkih algoritama⁴²), trend je posljednjih godina u industriji. Razvoj proizvodnih sustava i uvođenje robotike u industriji područje je s izrazitim uvođenjem računala za potrebe vođenja i upravljanja, s razvojem sve sofisticiranijih algoritama. Uvođenje elementa umjetne inteligencije u takve sustave potvrđuje se i u praksi, a ne samo u teoriji [68]. Skladišta, kao sastavni dio proizvodnih sustava, ne mogu ostati po strani. Potpuno automatizirana skladišta nisu u svijetu rijedak slučaj u praksi, a robotizacija aktivnosti skladištenja dakako je trend, te će se i u njima zasigurno naći primjena elemenata umjetne inteligencije.

Da li će se i u području oblikovanja skladišta primijeniti umjetna inteligencija? Hoće li ugradnja baza znanja u sofisticirane pakete za oblikovanje skladišta, koji koristi elemente umjetne inteligencije, dovesti do izgradnje jednog ekspertnog sustava za oblikovanje skladišta, koji će na temelju unesenih ulaznih podataka rezultirati potpuno optimalnim jednoznačnim rješenjem (vidi sliku 5.25. kao iteraciju slike 5.24.)? Bilo da je odgovor da ili ne, dug je put za znanstvenike u tom području do potvrde odgovora. No svakako treba razmotriti primjenu spomenutih elemenata u procesu odlučivanja pri oblikovanju skladišnih sustava, a jasno i u upravljanju automatiziranim skladišnim sustavima.



Slika 5.25. Oblikovanje skladišta ekspertnim sustavom

³⁹ Ekspertni sustavi mogu se definirati kao skup kompjuterskih programa kojima se nastoji oponašati logika rezoniranja, zaključivanja i donošenja odluka čovjeka eksperta.

⁴⁰ Pod pojmom umjetna neuronska mreža podrazumijeva se skup algoritama koji po svojoj osnovnoj strukturi oponašaju osnovne procese biološke neuronske mreže u smislu prijama, obrade, spremanja, interaktivne razmjene, te odašiljanja relevantnih informacija.

⁴¹ Sustavi neizrazite logike (eng. *fuzzy logic*) koriste skupove s više od dva stanja (za razliku od bivalentne logike), te se jednoj varijabli može pridružiti više stanja, ali s različitim težinama. Osnovna prednost takvih sustava jest činjenica da nije nužan matematički model za objekt kojim se upravlja.

⁴² Generički algoritmi koriste koncept prirodne selekcije i genetičkog prijenosa osobina na novu generaciju.

Vrlo je važno saznanje da je skladište samo dio jednog većeg logističkog lanca, te da će i takvo rješenje u tom kontekstu biti suboptimalno rješenje.

Jedno distribucijsko skladište samo je dio distribucijske mreže kao dijela cjelokupnog logističkog lanca. Distribucijsko skladište može samo za sebe biti vrlo efikasno, no pogrešne veličine i lokacije u distribucijskoj mreži. Rezultat planiranja distribucijske mreže su lokacije i veličine skladišta, a to su i ulazni podaci za oblikovanje skladišta. Za određivanje broja, lokacija i veličina skladišta u distribucijskoj mreži danas se koriste brojne analitičke, simulacijske i heurističke metode (detaljnije u [16]), a u literaturi se često taj problem naziva planiranje lokacije skladišta (eng. *warehouse location planning*). Razvijeni matematički modeli pri tome se temelje na minimizaciji ukupnih troškova transporta i skladištenja. Kako se rezultati temelje na pretpostavci o troškovima skladištenja, očita je međuzavisnost modela lokacije skladišta i oblikovanja skladišta. Isto tako, svako proizvodno skladište nekog poduzeća samo je dio proizvodnog logističkog lanca, koje je također dio cjelokupnog logističkog lanca, te je u međuzavisnosti s ostalim dijelovima poduzeća, te drugim poduzećima u lancu. Iz svega navedenog jasna je međuzavisnost oblikovanja skladišta sa skladišnim strateškim planiranjem, što je grafički ilustrirano na slici 5.24. obostranom strelicom.

Isto tako, iz perspektive cjelokupnog logističkog lanca, za potpunu optimizaciju spomenutog lanca potreban je matematički model cjelokupnog logističkog lanca, (a koji bi u sebi sadržavao i model skladišnog sustava). Izgradnja takvog modela gotovo je nemoguća, te su zanimljiva različita razmišljanja i prijedlozi znanstvenika. *Cohen* i *Lee* [8] pokušali su dati određeni kostur modela logističkog lanca i analitički postupak za proračunavanje karakteristika totalnog logističkog lanca. Taj model bio je temeljen na analitičkom podmodelu razina u logističkom lancu. Pokušaj stvaranja modela pojedinih pod-lanaca, koji će biti u međusobnoj interakciji, sigurno je korak naprijed u stvaranju jednog općeg modela. Konačno, određena stohastika i nesigurnost i ovdje se mogu obuhvatiti simulacijom. *Möller* [6] u svojoj disertaciji predlaže izgradnju jednog općeg logistički integriranog okvira, koji će u sebi sadržavati “analitičke pristupe, holizam, opće metode i interdisciplinarnе pristupe bazirane na specifičnoj situaciji poduzeća”, s “tijekom materijala kao integratorom”, pomoću kojeg se može pronaći najefektivnije rješenje za danu situaciju. Zanimljivo je i istraživanje *Sadeha*, *Smitha* i *Swaminathana* [65]⁴³, koji za analizu logističkih lanaca razvijaju modelsku i simulacijsku okolinu baziranu na tzv. “autonomnim agentima”. Model logističkog lanca definira se na temelju “agenata” (dobavljači, kupci, distributeri,...) i njihovim strukturnim vezama, interakcijskim protokolima i postupcima koordinacije. Koriste objektno-orijentirani pristup i cilj im je stvoriti biblioteke (baze) mnogih modela koji se mogu više puta koristiti i prilagođavati u različitim primjenama.

Iz spomenutih opisa vidljiva je sličnost pristupa rješavanju tog problema. Svi autori slažu se u konstataciji da logističkom lancu treba pristupiti kao cjelini. No, zbog same kompleksnosti logističkih lanaca nije jednostavno napraviti model cjelokupnog logističkog lanca. Uviđa se sličnost između prijedloga *Cohena* i *Leea* [8] i *Sadeha*, *Smitha* i *Swaminathana* [65] o izgradnji pod-modela odnosno “agenata”, koji bi bili povezani interakcijskim vezama. Zbog toga se autoru ovog rada nameće ideja o rješenju pomoću izgradnje bilo pod-modela, bilo objekata odnosno “agenata” (u daljnjem tekstu objekata), kao dijelova logističkog lanca, ali s

⁴³ Za detaljniji uvid spomenuti autori upućuju na radove: 1) Swaminathan, J.M., Smith, S.F. i Sadeh, N.M., “A Multi-Agent Framework for Modeling Supply Chain Dynamics”, *Proceedings NSF Research Planning Workshop on Artificial Intelligence and Manufacturing*, Albuquerque, NM, June 1996., 2) Swaminathan, J.M., Sadeh N.M. i Smith, S.F., “Modeling the Dynamics of Supply Chains”, *Proceedings AAAI-SIGMAN Workshop on Intelligent Manufacturing*, Seattle, WA, August 1994.

jasno definiranim interakcijskim vezama između tih objekata. Zbog većeg broja takvih objekata i ogromnom broju alternativa (kombinacija rješenja objekta) zbog interakcijskih veza, potrebna bi bila izgradnja softwareskog paketa koji će sadržavati baze predefiniranih objekata i interakcijskih veza. Skladišni sustav je dio logističkog lanca, te bi i on sam bio jedan objekt. Analogijom, zbog kompleksnosti samog skladišnog sustava, i on bi se sastojao od većeg broja objekata (zona skladištenja, zona komisioniranja, prijamna zona, predajna zona...) sa svojim interakcijskim vezama, a također i takvi objekti od svojih objekata (regali, viličari, konvejeri, palete,...) i interakcijskih veza.

U najnovijem proizvodu kompanije F & H Simulation B.V. iz Nizozemske, Taylor ED softwareskom paketu za modeliranje i simulaciju može se vidjeti korak ka takvom rješenju. Osnova tog paketa je "koncept atoma", gdje je atom objekt s 4 dimenzije (x,y i z-lokacija i vrijeme), a njihovo ponašanje (svojstva) i međusobna komunikacija definiraju se ugrađenim alatima programskim jezikom. No kako je to simulacijski softwer, i u imenu, ali i u suštini, zbog potrebe izgradnje alternativa i vrednovanja tih alternativa, prosudba autora ovog rada je da bi se unapređenjem takvog softwarea, gdje bi računalo obavilo golem posao generiranja, vrednovanja i odabira najpovoljnije alternative, znatno približili konačnom cilju, cjelokupnom modelu logističkog lanca.

LITERATURA

- [1] K.J. Roodbergen, Orderpicking in Warehouses, Research Dissertation Proposal, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam 1997
- [2] U.A.Palekar, Facilities Planning & Design Course, University of Illinois at Urbana, 1997 (internet verzija, <http://www.ews.uiuc.edu/courses/ie261>)
- [3] J.B. Dilworth, Production and Operations Management, McGraw-Hill, New York 1993
- [4] The Logistic Institute internet stranice (<http://tli.isye.gatech.edu/definiti.htm>)
- [5] Č.Oluić, Logistika u industrijskim poduzećima, Praktičar IV (u tisku)
- [6] C. Møller, Logistic Concept Development. Toward a Theory for Designing Effective Systems, doktorska disertacija, Aalborg University 1998 (<http://cwis.auc.dk/phd/fulltext/moeller>)
- [7] P.A. Slats et al., Logistic chain modelling, European Journal of Operational Research 87, 1-20, 1995
- [8] M.A. Cohen, H.L. Lee, Strategic analysis of integrated production-distribution systems: Models and methods, Operations Research 36, 216-228, 1988
- [9] J.R. Turner, Integrated supply chain management: what's wrong with this picture?, Industrial Engineering 25, 52-55, 1993
- [10] M. Napolitano, Using modeling to solve warehouse problems, WERC Oak Brook, Illinois, SAD, 1998
- [11] A. Vila, Teorija i praksa funkcioniranja organizacije, Informator, Zagreb, 1983
- [12] Č. Oluić, Skladištenje u industriji: rukovanje materijalom, FSB Zagreb, 1997
- [13] Č. Oluić, G. Đukić, N. Štefanić, Unternehmenlogistik: Bedeutung, Ziele und Aufgaben, UPS '97 Proceedings, 279-281, Mostar, September 1997
- [14] R. Jünemann, Materialfluss und Logistik, Springer Verlag, Berlin 1989
- [15] J.A. Tompkins et al., Facilities Planning (sec. ed.), J. Wiley and Sons, New York 1996
- [16] J. Ashayeri, Warehouse Design and Location Decisions: an Integrated Approach, doktorska disertacija, Katolički Univerzitet Leuven, Leuven (Belgija) 1985
- [17] B.J. Huddock, Designing a High-Quality Warehouse, The Quality Observer, June 1996
- [18] B. Vranješ i dr., Projektiranje proizvodnih sustava, EGE 5, 118-119, 1999
- [19] W. Skinner, The Focused Factory, Harvard Business Review, May-June 1974
- [20] W.J. Stevenson, Production/Operations Management (4. ed.), IRWIN, Boston 1993
- [21] H. Skoko, Proizvodna Strategija, Organizacija i management – hrvatska gospodarska revija, 21-34, 1996
- [22] J.P. Womack, From Lean Production to the Lean Enterprise, Harvard Business Review, 93-94, March-April 1994
- [23] K.J. Roodbergen, R. De Koster, Routing order pickers in a warehouse with multiple cross aisles, Proceedings of the 1998 International Material Handling Research Colloquium, 451-467, 1998
- [24] K.J. Roodbergen, C.G. Petersen, How to improve order picking efficiency with routing and storage policies, Promat 99, Material Handling Institute, Charlotte 1999
- [25] H.D. Ratliff, A.S. Rosenthal, Order-picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem, Operations Research 31 (3), 507-521, 1983
- [26] T.S. Vaughan, C.G. Petersen, The effect of warehouse cross aisles on order picking efficiency, International Journal of Production Research 37 (4), 881-897, 1999
- [27] K.J. Roodbergen, R. De Koster, Routing orderpickers in a warehouse with a middle aisle, European Journal of Operational Research (u pripremi)
- [28] R.L. Francis, J.A. White, Facility Layout and Location: an analytical approach, Prentice-Hall, New Jersey 1974

- [29] S. Heragu, Facilities Design, PWS Publishing, Boston 1997
- [30] A. Vila, Planiranje proizvodnje i kontrola rokova, Informator, Zagreb 1972
- [31] J.J. Moder, S.E. Elmaghraby, Handbook of Operations Research: Models and Applications, volume 2, Van Nostrand Reinhold Company, New York 1978
- [32] J.P. Womack, D.T. Jones, D. Roos, The Machine that Changed the World, Rawson Associates, New York 1991
- [33] G. Đukić, Č. Oluić, I. Čala, The Contribution to the Determination of Storage Requirements on the Basis of Service Levels, DAAAM'99 Proceedings, 135-136, Beč, Listopad 1999
- [34] A. Loudin, In 1, 2, 3 – out 1, 2, 3, Warehousing Management, May 1998
- [35] C.H. Muroff, Keep On Movin', Warehousing Management, December 1995
- [36] B. Schaffer, Implementing A Successful Crossdocking Operation, Tompkins Associates 1997 (<http://www.tompkinsinc.com/crossdk.html>)
- [37] Tompkins Associates, Crossdocking in the '90s, <http://www.tompkinsinc.com/formresponse.html>
- [38] Y. Tarnai, Planiranje sistema za komisioniranje, zbornik IV seminara o transportnim procesima u industriji, Beograd 1980
- [39] Č. Oluić, N. Štefanić, G. Đukić, Importance and aids of material preparing in logistic processes, 4th International Conference on production Engineering Cim '97, E-143 do E-150, Opatija, June 1997
- [40] T. Gudehus, Grundlagen der Kommissioniertechnik, Verlag W.G., Essen 1973
- [41] B. Vranješ, B. Jerbić, Z. Kunica, Programski paket za projektiranje proizvodnih sistema, Strojarstvo 31, broj 4-6, 229-236, 1989
- [42] B. Vranješ, B. Jerbić, Z. Kunica, projektiranje proizvodnih sustava, Praktičar IV (u tisku)
- [43] Č. Oluić, G. Đukić, M. Šafran, Contribution to the analysis of the material throughput and working cycles of the means of transport, DAAAM Symposium Proceedings vol. 2, 359-360, Cluj-Napoca, Romania, October 1998
- [44] P.H. Mertens, Regalförderzeuge, Förder und Heben 23 (15), 1973
- [45] Y.A. Bozer, J.A. White, Travel-Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems, IIE Transactions Vol. 16, no. 4, str. 329-338, December 1984
- [46] W. Schaab, Automatisierte Hochregalanlagen, Düsseldorf 1969
- [47] E. Johnson, The impact of sorting strategies on automated sortation system performance, IIE Transactions 30, 67-77, 1998
- [48] Y.A. Bozer, M.A. Quiroz, G.P. Sharp, An evaluation of alternative control strategies and design issues for automated order accumulation and sortation systems, Material Flow 4, 265-282, 1988
- [49] R.D. Meller, Optimal order-to-line assignments in an order accumulation/sortation system, IIE Transactions 29, 293-301, 1997
- [50] C.G. Petersen, R.W. Schmenner, An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation, Decision Sciences (u pripremi), 1999
- [51] Tompkins Associates, WMS technologies, <http://www.tompkinsinc.com/formresponse.html>
- [52] J.A. Cooke, Software is IT, Warehousing Management, May 1998
- [53] K. Finkel, How to Launch a Successful Warehouse management System, IE Solutions, 16-20, February 1996
- [54] T. Gripman, Secrets to cost Justifying WMS's, IE Solutions, 26-29, July 1997
- [55] A. Keith, M. Oliver, Expanding Horizons, Team Purchasing Decision 4, 84-87, July 1998

- [56] P. Lipp, Warehouse 2000: How Bright Is Your Future, Warehousing Management, November/December 1996
- [57] Gross & Associates, Simulation and Advanced Performance Warehouse, <http://www.grossassociates.com/simulation.htm>
- [58] B.P. Ziegler, Theory of Modeling and Simulation, J. Wiley, New York 1976
- [59] W.J. Davis, Looking into the Future of Simulation, IIE Solutions, 24-30, May 1998
- [60] F. Neelamkavil, Computer Simulation & Modeling, J. Wiley and Sons, New York 1987
- [61] R. Bowden, The Spectrum of Simulation Software, IIE Solutions, 44-46, May 1998
- [62] T. Feare, Simulating Material Handling Systems, Modern Material Handling, March 1996
- [63] M. Rohrer, Seeing is Believing: The Importance of Visualisation in Manufacturing Simulation, IIE Solutions, 24-28, May 1997
- [64] B.A. Peters, J.S. Smiths, T.S. Hale, Closed Form Models for Determining the Optimal Dwell Point Location in Automated Storage and Retrieval Systems, <http://tamcam.tamu.edu/papers/DWELL/DWELLREV.htm>
- [65] N. Sadeh, S.F. Smith, J. Swaminathan, Supply-Chain Modeling and Analysis, <http://almond.srv.cs.cmu.edu/afs/cs/project/ozone/www/supply-chain/supply-chain.html>
- [66] N. Šakić i dr., Informacijski sustavi proizvodnje – stanje i trendovi, EGE 5, 120-121, 1999
- [67] SAP katalozi i prospekti
- [68] B. Novaković, Umjetna inteligencija u robotici i proizvodnim sustavima, Bilten razreda za tehničke znanosti HAZU Zagreb, br. 1, 1999
- [69] SICALIS prospekt tvrtke Siemens

ŽIVOTOPIS

Goran Đukić rođen je 27. ožujka 1970. godine u Varaždinu. Osnovnu školu završio je u Ivancu, a srednju u Varaždinu, SC "Gabrijel Santo", usmjerenje za matematičko-informatičke tehničare. Godine 1989. upisao je, a 1994. diplomirao na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.

Kao apsolvent, u Srednjoj školi Ivanec honorarno je predavao stručne predmete iz strojarstva i informatike. Godine 1995. odlazi na odsluženje vojnog roka, uključujući šest mjeseci u Domovinskom ratu kao pripadnik 113. brigade Šibenik. Nakon odsluženja vojnog roka radio je u poduzeću "ITAS" Ivanec u konstrukcijskom odjelu, a od 1996. godine radi na Zavodu za industrijsko inženjerstvo Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu kao znanstveni novak. Sudjeluje u istraživanju na projektu 120-019 "Upravljanje proizvodnjom uporabom umjetne inteligencije", glavni istraživač prof.dr.sc. Nikola Šakić, a radio je i na projektu 2-08-175 "Istraživanje i razvoj logistički integrirane proizvodnje", glavni istraživač prof.dr.sc. Dragutin Taboršak. Objavio je, kao koautor, osam radova, od čega četiri na međunarodnim znanstvenim skupovima u inozemstvu, tri na međunarodnim znanstvenim skupovima u Hrvatskoj i jedan rad u časopisu Strojstvo. Osim toga koautor je jednog projekta regalnog skladišta i Zbirke zadataka iz rukovanja materijalom za studente FSB-a. Tijekom 1998. godine proveo je dva mjeseca na University of Nebraska, Omaha, u SAD-u na studijskom boravku. Govori i piše engleski jezik.

BIOGRAPHY

Goran Đukić was born on 27 March 1970 in Varaždin. He completed the elementary school in Ivanec, and the secondary school "Gabriel Santo", with a field of study for mathematical-informatical technicians, in Varaždin. He enrolled in studies at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, in 1989, and graduated in 1994.

In the last year of study, he lectured honorary in the secondary school Ivanec, and held courses of mechanical engineering and informatics. He started serving the military service in 1995, including six months in the Croatian war as the member of 113th Brigade in Šibenik. After having completed the military service, he worked in the company "ITAS" Ivanec in the mechanical engineering design department. Since 1996 he has been working in Industrial Engineering Department, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Zagreb, as an associate in science. He participates in the research work on the project 120-019 "Manufacturing management using artificial intelligence", principal investigator Prof. Nikola Šakić, Ph.D., and he also worked on the project 2-08-175 "Research and development of logistically integrated manufacture", principal investigator Prof. Dragutin Taboršak, Ph.D. He has published, as co-author eight papers, four in international scientific conferences abroad, three in international conferences in Croatia and one in the journal "Strojstvo". In addition, he is a co-author of the design of a rack warehouse and a co-author of the hand-book Material Handling Problems Book for students at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture. During 1998 he spent two months on specialist training at the University of Nebraska in Omaha, USA. He speaks and writes English.